



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“REDISEÑO DE UN DISCO DE FRENOS NORMAL A
VENTILADO MEDIANTE MECANIZADO PARA LA
COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA CON OTRO DISCO
CONVENCIONAL”**

**ACERO ANGAMARCA IVÁN ALEJANDRO
CALDERÓN PERALTA EDWIN ANTONIO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2019

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2018-04-18

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparada por:

IVÁN ALEJANDRO ACERO ANGAMARCA

Titulada:

**“REDISEÑO DE UN DISCO DE FRENOS NORMAL A VENTILADO MEDIANTE
MECANIZADO PARA LA COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA CON OTRO DISCO
CONVENCIONAL”**

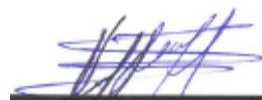
Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ



Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:



Ing. Vicente Javier Romero Hidalgo
DIRECTOR



Ing. Johnny Marcelo Pancha Ramos
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2018-04-18

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparada por:

EDWIN ANTONIO CALDERÓN PERALTA

Titulada:

**“REDISEÑO DE UN DISCO DE FRENOS NORMAL A VENTILADO MEDIANTE
MECANIZADO PARA LA COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA CON OTRO DISCO
CONVENCIONAL”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ



Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:



Ing. Vicente Javier Romero Hidalgo
DIRECTOR



Ing. Johnny Marcelo Pancha Ramos
MIEMBRO

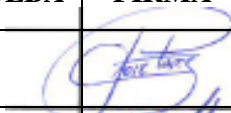

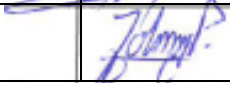
EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: IVÁN ALEJANDRO ACERO ANGAMARCA

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: **“REDISEÑO DE UN DISCO DE FRENOS NORMAL A VENTILADO MEDIANTE MECANIZADO PARA LA COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA CON OTRO DISCO CONVENCIONAL”**

Fecha de Examinación: 2019-07-23

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA	✓		
Ing. Vicente Javier Romero Hidalgo DIRECTOR	✓		
Ing. Johnny Marcelo Pancha Ramos ASESOR	✓		

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.



Ing. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

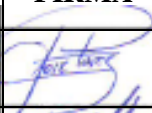


EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: EDWIN ANTONIO CALDERÓN PERALTA

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: **“REDISEÑO DE UN DISCO DE FRENOS NORMAL A VENTILADO MEDIANTE MECANIZADO PARA LA COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA CON OTRO DISCO CONVENCIONAL”**

Fecha de Examinación: 2019-07-23


RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA	✓		
Ing. Vicente Javier Romero Hidalgo DIRECTOR	✓		
Ing. Johnny Marcelo Pancha Ramos ASESOR	✓		

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.



Ing. José Francisco Pérez Fiallos
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de titulación denominado **“REDISEÑO DE UN DISCO DE FRENOS NORMAL A VENTILADO MEDIANTE MECANIZADO PARA LA COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA CON OTRO DISCO CONVENCIONAL”** que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



Acero Angamarca Iván Alejandro
Cédula de Identidad: 030226510-3



Calderón Peralta Edwin Antonio
Cédula de Identidad: 210076454-3

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Iván Alejandro Acero Angamarca y Edwin Antonio Calderón Peralta, declaramos bajo juramento que el presente trabajo es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos usados en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Acero Angamarca Iván Alejandro
Cédula de Identidad: 030226510-3

Calderón Peralta Edwin Antonio
Cédula de Identidad: 210076454-3

DEDICATORIA

Mi trabajo de titulación se la dedico con todo mi amor y cariño a toda mi familia, aunque hemos pasado por momentos malos, siempre hemos estado juntos y en apoyo mutuo, lo cual me dio la inspiración y fuerza para continuar con este proceso de culminar uno de los anhelos más deseados en esta vida.

A mi querido padre Segundo Acero por su sacrificio y esfuerzo, por darme una carrera para nuestro futuro y por creer en mi capacidad.

A mi querida madre Angelita Angamarca por su carácter íntegro y firme, el cual me ha hecho una persona de principios, valores y honestidad.

A mis amores Gladis y Arilis, por ser ellas mi fuente de motivación para no rendirme ante los problemas de la vida.

Acero Angamarca Iván Alejandro

Este trabajo de titulación se la dedico con todo mi cariño a mis padres Rosalino Calderón y Esperanza Jumbo quienes supieron inculcarme buenos valores éticos y morales, gracias a su esfuerzo y sacrificio y amor absoluto nunca dejaron de apoyarme incondicionalmente en mi camino de formación personal y profesional a pesar de las duras dificultades que se dieron.

A toda mi familia que siempre demostraron su cariño y apoyo hacia mi persona, por compartir momentos significativos y felices conmigo y sobre todo por ser un excelente ejemplo a seguir.

Calderón Peralta Edwin Antonio

AGRADECIMIENTO

Gracias a mi Dios por la salud y vida, por permitirme disfrutar en todo momento con mi familia y personas cercanas a mí, quienes de una u otra manera influyeron para poder alcanzar este logro.

Agradezco a los docentes formadores, quienes con gran sabiduría se han esforzado por guiarme por el camino del conocimiento el cual me permitió llegar a ser una mejor persona.

Agradezco el amor y apoyo de mis amores Gladis y Arilis, de quienes estoy orgulloso y agradecido por ser parte de mi vida.

También agradezco infinitamente a mis padres por el apoyo y confianza que siempre han depositado en mí. Gracias por todas las enseñanzas que me ayudaron a ser una buena persona.

Acero Angamarca Iván Alejandro

Agradezco a mis padres por el amor, sacrificio y esfuerzo, por la confianza que me brindaron, por su apoyo incondicional durante toda mi vida, gracias por demostrar que siempre estuvieron conmigo a pesar de todos los problemas que se pudieron suscitar en mi trayectoria estudiantil.

Gracias toda mi familia, a mis amigos por hacer de este duro camino profesional más llevadero y gratificante.

Agradezco a mis docentes quienes me supieron inculcar ese interés en la rama profesional, por compartir sus experiencias y conocimientos los que han sido muy importantes para mi formación profesional.

Calderón Peralta Edwin Antonio

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN	1
--------------------	---

CAPÍTULO I

1.1	Problematización	2
1.2	Justificación.....	2
1.3	Alcance.....	3
1.4	Objetivos.....	3
1.4.1	<i>Objetivo general.</i>	3
1.4.2	<i>Objetivos específicos:</i>	4

CAPÍTULO II

2	MARCO TEÓRICO	5
2.1	Introducción.....	5
2.2	Principios de funcionamiento del sistema de frenos.....	5
2.2.1	<i>La ley de Pascal.</i>	5
2.2.2	<i>La fricción.</i>	6
2.3	Elementos del sistema de frenos.....	7
2.3.1	<i>Pedal de freno.</i>	8
2.3.2	<i>Conjunto de servo-freno</i>	9
2.3.3	<i>Cilindro principal.</i>	10
2.3.4	<i>Válvula combinada</i>	10
2.3.4.1	<i>Válvula dosificadora.</i>	10
2.3.4.2	<i>Válvula compensadora.</i>	10
2.3.5	<i>Tambor y zapatas de freno.</i>	11
2.3.5.1	<i>Tambor.</i>	11
2.3.5.2	<i>Zapatas.</i>	11
2.3.6	<i>Disco de freno.</i>	13

2.3.6.1	<i>Discos sólidos</i>	13
2.3.6.2	<i>Discos convencionales</i>	13
2.3.6.3	<i>Discos ventilados</i>	13
2.3.7	<i>Pastillas de freno.</i>	13
2.3.7.1	<i>Pastillas cerámicas</i>	13
2.3.7.2	<i>Orgánicas</i>	13
2.3.7.3	<i>Semi-metálicas o metálicas</i>	13
2.3.8	<i>Líneas de freno.</i>	15
2.3.9	<i>Latiguillo de freno.</i>	16
2.3.10	<i>Cáliper.</i>	16
2.3.10.1	<i>Cáliper flotantes</i>	16
2.3.10.2	<i>Cáliper fijo</i>	16
2.4	Transferencia de calor en los frenos.	17
2.4.1	<i>Calor producido en el disco de freno.</i>	18
2.4.2	<i>Energía disipada en el frenado.</i>	18
2.4.3	<i>Cálculo de la temperatura final.</i>	19
2.4.4	<i>Disipación de calor de los discos de freno.</i>	22
2.4.4.1	<i>Conducción</i>	23
2.4.4.2	<i>Convección.</i>	23
2.4.4.3	<i>Ley de Fourier.</i>	23
2.4.4.4	<i>Ecuación de enfriamiento de Newton.</i>	24
2.5	Problemas en los discos y pastillas de freno por altas temperaturas	25
2.5.1	<i>Pérdida de eficacia de los frenos (fading).</i>	26
2.5.1.1	<i>Como detectar el fading</i>	26
2.5.1.2	<i>Como prevenir el efecto fading</i>	26
2.5.2	<i>Judder.</i>	27
2.5.2.1	<i>Judder “frío” (cold judder)</i>	27
2.5.2.2	<i>Judder “caliente” (hot judder).</i>	27
2.5.3	<i>Ruido.</i>	29
2.5.3.1	<i>Como evitar que se produzca el ruido.</i>	30
2.5.4	<i>Desgastes prematuros.</i>	30
2.5.5	<i>Pastillas cristalizadas.</i>	31
2.5.6	<i>Calentamiento excesivo del disco de freno.</i>	32

2.6	Líquido de freno.....	32
2.6.1	<i>Características de líquido de freno.</i>	33
2.6.1.1	<i>La viscosidad..</i>	33
2.6.1.2	<i>La protección del sistema de frenos.....</i>	33
2.6.1.3	<i>El punto de ebullición..</i>	33
2.6.2	<i>Tipos de líquido de freno.....</i>	33
2.6.2.1	<i>DOT 3</i>	33
2.6.2.2	<i>DOT 4.</i>	33
2.6.2.3	<i>DOT 5.</i>	33
2.6.2.4	<i>DOT 5.1.....</i>	33
2.7	Controlador de temperatura al disco de freno.....	34
2.7.1	<i>Equipos de monitoreo de temperatura.</i>	34
2.7.1.1	<i>Raytek..</i>	34
2.7.1.2	<i>Omega.....</i>	34
2.7.1.3	<i>NI 6008.....</i>	34
2.7.1.4	<i>Arduino.</i>	34

CAPÍTULO III

3.	METODOLOGÍA	38
3.1	Material de los discos de freno.	38
3.2.1	<i>Pista</i>	39
3.2.2	<i>Fijación</i>	39
3.2.3	<i>Campana</i>	40
3.2.4	<i>Filtro térmico</i>	40
3.3	Principales discos de freno estudiados.....	40
3.3.1	<i>Discos de freno perforados.</i>	44
3.3.2	<i>Discos de freno rayados..</i>	44
3.3.3	<i>Discos de freno perforados y rayados.</i>	44
3.3.4	<i>Análisis térmico en los discos de freno..</i>	44
3.3.5	<i>Análisis de fricción y eficiencia de frenado.</i>	44

CAPÍTULO IV

4.	REDISEÑO DEL DISCO DE FRENO NORMAL A VENTILADO, SELECCIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA DE LOS DISCOS DE FRENO E IMPLEMENTACIÓN EN D-MAX 4X4.	45
-----------	---	-----------

4.1	Rediseño del disco de freno normal a ventilado.....	45
4.1.1	<i>Construcción de plano inicial.....</i>	45
4.1.2	<i>Delineamiento de ejes geométricos principales.</i>	45
4.1.3	<i>Delineamiento de ejes geométricos principales.</i>	45
4.1.3	<i>Trazo de orificios y ranuras..</i>	45
4.1.4	<i>Modelado del disco de freno rediseñado.....</i>	45
4.2	Mecanizado del disco de freno ventilado.....	47
4.2.1	<i>Exportación de planos y datos geométricos a Mastercam.</i>	48
4.2.2	<i>Fijación y centrado del disco de freno.</i>	48
4.2.3	<i>Perforación de agujeros de ventilación del disco de frenos.</i>	48
4.2.4	<i>Desbaste de ranuras de ventilación.</i>	49
4.2.5	<i>Acabado final.</i>	50
4.3	Asignación de parámetros del sistema de monitoreo de temperatura de los discos de freno.	51
4.3.1	<i>Selección de hardware y sensores para el sistema de monitoreo de temperatura.</i>	51
4.3.2	<i>Hardware seleccionado (ARDUINO).</i>	51
4.3.3	<i>Sensor seleccionado (MLX90614).</i>	52
4.3.4	<i>Software a utilizar LabVIEW.</i>	52
4.3.4.1	<i>Panel Frontal.</i>	52
4.3.4.2	<i>Diagrama de Bloques.</i>	52
4.3.5	<i>Arduino + LabVIEW.....</i>	54
4.3.6	<i>Estructuración del analizador de datos de temperatura.....</i>	54
4.3.6.1	<i>Sensor de temperatura.</i>	54
4.3.6.2	<i>Arduino.</i>	54
4.3.6.3	<i>Cable serial de datos.</i>	54
4.3.6.4	<i>Laptop.....</i>	54
4.3.7	<i>Programación del analizador de datos.</i>	55
4.3.7.1	<i>Pasos de asignación de parámetros en LabVIEW.....</i>	55
4.3.8	<i>Parametrización del sistema de monitoreo de temperatura.</i>	59
4.4	Implementación de discos ventilados y sistema de monitoreo de temperatura	62
4.4.1	<i>Introducción.</i>	62
4.4.2	<i>Implementación de disco de freno ventilado en D-max 4x4.</i>	62
4.4.2.1	<i>Ubicación del vehículo en un lugar firme y nivelado.</i>	63
4.4.2.3	<i>Retirar los neumáticos frontales.</i>	63
4.4.2.4	<i>Desmontaje de cálipers.....</i>	64
4.4.2.5	<i>Desmontaje del disco de freno.....</i>	65

4.4.2.6	<i>Montaje del disco de freno.</i>	66
4.5	Implementación del sistema de monitoreo de temperatura en vehículo	67
4.5.1	<i>Ubicación del Arduino en el vehículo.</i>	67
4.5.2	<i>Ubicación del sensor de temperatura.</i>	68
4.5.3	<i>Instalación de arnés para el sistema monitoreo de temperatura.</i>	68

CAPÍTULO V

5	PRUEBAS Y MONITOREO DE TEMERATURA DE DISCOS VENTILADOS EN VEHÍCULO D-MAX 4X4.	70
5.1	<i>Plan de pruebas y monitoreo de temperatura.</i>	70
5.1.1	<i>Monitoreo de temperatura en ruta con discos originales.</i>	70
5.1.2	<i>Monitoreo de temperatura en ruta con discos ventilados.</i>	72
5.1.3	<i>Monitoreo de Temperatura en Ruta con un Disco Normal y uno Ventilado.</i>	74
5.2	Prueba de frenado.	76
5.2.1	<i>Prueba de frenado con discos originales.</i>	77
5.2.2	<i>Prueba de frenado con discos ventilados.</i>	78
5.2.3	<i>Comparación de las dos pruebas de frenado con los respectivos tipos de discos.</i>	79

CAPÍTULO VI

6	COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN	80
6.1	Detalle de costos directos.	80
6.2	Detalle de costos directos.	80
6.3	Costos totales.	81
	CONCLUSIONES.	82
	RECOMENDACIONES	83

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-2: Clasificación de los coeficientes de fricción.	7
Tabla 1-5: Datos de temperatura de disco normal (1).....	71
Tabla 2-5: Datos de temperatura de disco normal (2).....	71
Tabla 3-5: Datos de Temperatura de Disco ventilado (1).	72
Tabla 4-5: Datos de temperatura de disco ventilado (2).	73
Tabla 5-5: Datos de temperatura de disco normal (gráfica 1).	75
Tabla 6-5: Datos de temperatura de disco ventilado (gráfica 2).	75
Tabla 7-5: Diferencia de temperatura entre los dos tipos de discos.	76
Tabla 8-5: Resultados de frenado con discos normales.	78
Tabla 9-5: Resultados de frenado con discos ventilados.	78
Tabla 10-5: Datos de tiempo y distancia de frenada de discos normales y ventilados	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-2: Ley de Pascal	6
Figura 2-2: Elementos del Sistema de frenos.	7
Figura 3-2: Pedal de freno.....	8
Figura 4-2: Servofreno.....	9
Figura 5-2: Cilindro Principal.	10
Figura 6-2: Válvula Combinada.....	10
Figura 7-2: Tambor de freno.....	12
Figura 8-2: Zapatas de freno.	12
Figura 9-2: Conjunto de Disco de Freno.	13
Figura 10-2: Pastillas de freno.	14
Figura 11-2: Líneas del Sistema de Frenos.	15
Figura 12-2: Latiguillos de Freno.	16
Figura 13-2: Cáliper.....	16
Figura 14-2: Deslizamiento de dos Cuerpos.	19
Figura 15-2: Carga de Calor.....	20
Figura 16-2: Número Adimensional de Peclet.	21
Figura 17-2: Distribución de Temperatura.	22
Figura 18-2: Dirección del Flujo de Calor.	24
Figura 19-2: Enfriamiento de Newton.	24
Figura 20-2: Problemas de Disco y Pastilla de Frenos.	26
Figura 21-2: Holguras en los Discos de Freno.	28
Figura 22-2: Presencia de Imperfecciones en Disco de Freno.	28
Figura 23-2: Desgaste Prematuro del Disco.	29
Figura 24-2: Desgaste del Disco de Freno.	31
Figura 25-2: Pastillas de Freno Cristalizadas.	32
Figura 26-2: Calentamiento del Disco de Freno.....	32
Figura 27-2: Líquido para Frenos.	33
Figura 28-2: Raytek.	35
Figura 29-2: Omega.	36
Figura 30-2: NI6008.	36
Figura 31-2: Arduino.	37
Figura 1-3: Disco de Freno.	38
Figura 2-3: Geometría de los Discos de Freno.....	39

Figura 3-3: Discos de Freno Perforados.....	41
Figura 4-3: Discos de Freno Rayados.	42
Figura 5-3: Discos de Freno Perforados y Rayados.	43
Figura 1-4: Construcción de Plano Inicial.....	45
Figura 2-4: Delineamiento de Ejes Geométricos Principales.	46
Figura 3-4: Trazo de Orificios Y Ranuras.....	46
Figura 4-4: Modelado del Disco de Freno Normal.....	47
Figura 5-4: Modelado del Disco de Freno Rediseñado.	47
Figura 6-4: Modelado de disco Ventilado.	47
Figura 7-4: Fijación y Centrado del Disco de Freno.	48
Figura 8-4: Asignación de puntos a perforar en el disco.	48
Figura 9-4: Perforación al Disco de Freno.	49
Figura 10-4: Asignación de Ranuras en Mastercam.....	49
Figura 11-4: Desbaste de Ranuras de Ventilación.....	50
Figura 12-4: Acabado Final.	50
Figura 13-4: Discos Ventilados.....	51
Figura 14-4: Tarjeta Arduino.	52
Figura 15-4: Sensor de Temperatura por Infrarrojo.	52
Figura 16-4: Software LabVIEW.....	53
Figura 17-4: Software LabVIEW.....	54
Figura 18-4: Estructura de Analizador de Temperatura para los Discos de Freno.	55
Figura 19-4: Asignación de Parámetros.	56
Figura 20-4: Asignación de Parámetros.	56
Figura 21-4: Asignación de Parámetros.	57
Figura 22-4: Asignación de Parámetros.	57
Figura 23-4: Asignación de Parámetros.	57
Figura 24-4: Asignación de Parámetros.	58
Figura 25-4: Asignación de Parámetros.	58
Figura 26-4: Asignación de Parámetros.....	59
Figura 27-4: Pantalla Gráfica de Temperatura.	59
Figura 28-4: Asignación de Bloques.	60
Figura 29-4: Asignación de Bloques.	60
Figura 30-4: Asignación de Bloques.....	61
Figura 31-4: Asignación de Bloques.....	61
Figura 32-4: Asignación de Bloques.....	61
Figura 33-4: Asignación de Bloques.....	62

Figura 34-4: Asignación de Bloques.....	62
Figura 35-4: Ubicación del Vehículo.	63
Figura 36-4: Desmontaje del Neumático.....	64
Figura 37-4: Liberación del Neumático.	64
Figura 38-4: Desmontaje de Cáliper.	65
Figura 39-4: Liberación de Cáliper.	65
Figura 40-4: Desmontaje del Disco de Freno Normal.	66
Figura 41-4: Liberación del Disco Original.	66
Figura 42-4: Montaje del Disco Ventilado.....	67
Figura 43-4: Implementación del Disco Ventilado.	67
Figura 44-4: Ubicación del Arduino.	68
Figura 45-4: Ubicación de los Sensores de Temperatura.	69
Figura 46-4: Instalación de arnés del sistema de monitoreo de temperatura.	69
Figura 1-5: Pista de prueba de frenado.....	76
Figura 2-5: Vehículo de prueba.....	77
Figura 3-5: Prueba de frenado con discos normales.	77
Figura 4-5: Prueba de frenado con discos ventilados.	78

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1-5: Monitoreo de temperatura en ruta con discos normales.	70
Gráfico 2-5: Temperatura de Disco Normal (1) en Excel.	71
Gráfico 3-5: Temperatura de Disco Normal (2) en Excel.	71
Gráfico 4-5: Temperatura de Discos 1 y 2 en Excel.	72
Gráfico 5-5: Monitoreo de Temperatura en Ruta con Discos Ventilados.	72
Gráfico 6-5: Temperatura de Disco Ventilado 1 en Excel.	73
Gráfico 7-5: Temperatura de Disco Ventilado 2 en Excel.	73
Gráfico 8-5: Temperatura de Discos Ventilados 1 y 2 en Excel.	74
Gráfico 9-5: Monitoreo de temperatura en ruta con discos mixtos.	74
Gráfico 10-5: Temperatura de Disco Normal en Excel.	75
Gráfico 11-5: Temperatura de Disco Ventilado.	75
Gráfico 12-5: Temperaturas de Discos Normal y Ventilado en Excel.	76
Gráfico 13-5: Comparativa Tiempo Vs Distancia de frenado (en Excel).	79

SIMBOLOGÍA

SÍMBOLO	MAGNITUD	UNIDAD
F	Fuerza	N, lb
P	Presión	(lb/in^2) ó (N)
S	Área	m, in
F _s	Fuerza de salida	N, lb
F _E	Fuerza de entrada	N, lb
Q_{total}	Calor que absorbe el disco de freno	W/m^2
μ	Factor de rose en las balatas y disco de freno	Adimensional
p	Presión ejercida por el disco de freno	N/m^2
V_p	Velocidad inicial del disco de freno.	m/s
E_f	Energía disipada durante la frenada.	J
i	Factor de corrección para masas rodantes, para vehículos livianos.	Adimensional
m	Masa del vehículo.	Kg
V_i	Velocidad al inicio del frenado.	m/s
V_f	Velocidad al final del frenado.	m/s
K	Difusividad térmica.	m^2/s
λ	Conductividad térmica.	W/mK
P	Peso específico.	kg/m^3
C	Calor específico.	m^2/s^2K

LISTA DE ABREVIACIONES

CAD	Computer Aided Design
SAE	Society of Automotive Engineers
DOT	Department of Transportation
LCD	Liquid Crystal Display
PC	Personal Computer
RTD	Resistance Temperature Detector
NI	National Instruments
DAQ	Data Acquisition
USB	Universal Serial Bus
CNC	Computer Numerical Control
MLX90614	Serial of Temperature Sensor
DC	Direct Current
A/D	Analog to Digital Coverter
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench
Vis	Virtual Instruments
I/O	Input/Output
VISA	Virtual Instrument Software Architecture

LISTA DE ANEXOS

- A** Plano de rediseño del disco normal a ventilado.
- B** Esquema de la placa electrónica Arduino.
- C** Precisión estándar del sensor de temperatura (MLX90614).
- D** Tablas de coeficientes fricción de frenado.
- E** Diferencia de temperatura entre un disco normal y ventilado.
- F** Resultado de las pruebas de frenado con disco normal y ventilado.

RESUMEN

El objetivo de este estudio es rediseñar un disco de freno normal a ventilado para comparar las diferencias de temperatura con otro disco de freno normal, para alcanzar este fin se instaló un sistema de monitoreo de temperaturas en un vehículo Chevrolet D-Max el cual consistió en la implementación de dos sensores de temperatura ubicados cerca de cada disco y una tarjeta de adquisición de datos. El estudio de los sistemas y discos de freno, hacen entender que el fenómeno de transferencia de calor producida por la fricción de disco y pastillas de frenos es de carácter inestable es decir varía en el tiempo, con la implementación de los discos ventilados se pudo disminuir la temperatura generada por la fricción del frenado, la disipación del calor de los discos ocurre por conducción hacia los componentes del sistema de frenos y por convección hacia el medio ambiente. Se realizó el monitoreo de valores de temperaturas que se producen entre los discos y balatas al momento de frenar, esto se logra por medio del sistema de monitoreo de temperatura implementado en el presente proyecto. Para obtener los valores de temperaturas de los discos de frenos, se realizó pruebas de ruta con diferentes tipos de discos: discos normales en las dos ruedas frontales, discos ventilados en las dos ruedas frontales y discos mixtos. En los discos mixtos van un disco normal en rueda delantera izquierda y un disco ventilado en rueda delantera derecha. Mediante visualización de datos en tiempo real de la temperatura en los discos de freno se pudo concluir que los discos ventilados poseen un mejor diseño térmico ya que presentan una mejor ventilación y una tensión máxima menor con respecto a los discos normales. A partir de todos los resultados de las pruebas de rutas obtenidas, se pudo visualizar el comportamiento de temperatura en los discos al momento de frenar, se evidenció que los discos ventilados tienden a calentarse menos que los discos normales, los discos rediseñados son más factibles y eficientes que garantizan una mayor concentración de esfuerzos axiales al momento de frenar.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <REDISEÑO>, <MONITOREO>, <TEMPERATURA>, <SISTEMA>, <ESFUERZOS>, <DISCO>, <FRENADO>, <EFICIENCIA>.



ABSTRACT

The objective of this study is to redesign a normal to ventilated brake disk to compare temperature differences with another normal brake disk, to achieve this purpose a temperature monitoring system was installed in a Chevrolet D-Max vehicle which consisted of in the implementation of two temperature sensors located near each disk and a data acquisition card. The study of brake systems and disks makes it clear that the phenomenon of heat transfer caused by the friction of the disc and brake pads is of a nature that is to say varies over time, with the implementation of the ventilated disks it was possible to reduce the temperature generated by the friction of the braking, the heat dissipation of the disks is conducted by conduction towards the components of the brake system and by convection towards the environment. it was made monitoring of temperature values that occur between the disks and balatas at the time of braking was carried out, this is achieved through the monitoring system of temperature implemented in the present project. To obtain the temperature values of the brake disks, road tests were carried out with different types of disks: normal disks on the two front wheels, ventilated disks on the two front wheels and mixed disks. In mixed disks there is a normal disk in the front left wheel and a ventilated disk in right front wheel. Through real-time data visualization of the temperature in the brake disks it was concluded that the ventilated disks have a better thermal design since they have better ventilation and a lower maximum tension with respect to normal disks. From all the results of the route tests obtained, it was possible to visualize the temperature behavior in the disks at the time of braking, it was evidenced that the ventilated disks tend to heat up less than the normal disks, the redesigned disks are more feasible and efficient that guarantee a greater concentration of axial stresses at the time of braking.

Keywords: < ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES>, < REDESIGN>, < MONITORING>, < TEMPERATURE>, < SYSTEM>, < EFFORT>, <DISK>, < BRAKING>, < EFFICIENCY>.



INTRODUCCIÓN

La Escuela de Ingeniería Automotriz perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, una de las que ha mostrado más alto crecimiento en los últimos años, goza de un gran prestigio dentro del país, debido a que es la encargada de formar profesionales competitivos, de alta calidad y conscientes de las necesidades actuales del campo automotriz de nuestro país. Por esta razón los profesionales formados en esta institución están en capacidad de satisfacer los requerimientos competentes al área en la que se desempeñan, siempre con un enfoque en el desarrollo de nuevas tecnologías y en la búsqueda de nuevas vías para el cuidado del medio ambiente.

El argumento de este trabajo de titulación tiene como propósito ser un instrumento de aporte investigativo para la nueva generación de estudiantes, ya que brindará conocimientos relevantes y un alto grado de nivel académico.

Cada día se realizan investigaciones sobre nuevas tendencias que tiene como objetivo mejorar la eficiencia del sistema de frenos, y a su vez reducir los accidentes por sobrecalentamiento en el sistema, así como también nuevos sistemas que pueden monitorear el comportamiento de todo el sistema de frenos.

Mediante el presente proyecto de titulación los futuros profesionales de la Escuela de Ingeniería Automotriz, podrán aplicar esta modalidad de tecnologías y enfocarla hacia fines investigativos, entre otros.

CAPÍTULO I

1.1 Problematización

El sistema de frenos es un sistema primordial de seguridad para evitar cualquier accidente durante el manejo de todo tipo de vehículo. El problema presente en estos sistemas es debido al sobrecalentamiento en los componentes del sistema, por ende, es necesario realizar un estudio y seguimiento del compartimento de la temperatura en los discos de freno. Uno de los factores indispensable para análisis y estudio son las alteraciones de temperatura al momento de accionar los frenos.

En los últimos tiempos y con el crecimiento del avance tecnológico, se están implementando discos ventilados, los mismos que nos ayuda a reducir el sobrecalentamiento y evitar en gran medida los accidentes de tránsito.

El uso de estos sistemas modernos se ve aplicados solo en vehículos de alta gama, debido a su costo superior con respecto a un sistema convencional. La implementación de discos ventilados en el presente proyecto tiene como objetivo mejorar la disipación de calor producido por la acción del frenado, a un costo más bajo y accesible.

La escuela de Ingeniería Automotriz de la facultad de Mecánica de la ESPOCH, no cuenta con los equipos necesarios para poder brindar el servicio de mecanizado de los discos de freno y mucho menos con los equipos de tecnología que ayude con el monitoreo de comportamiento de temperatura en los discos.

1.2 Justificación

El desarrollo del presente trabajo de titulación tiene como finalidad monitorear datos de calor producido por la fricción entre las balatas y el disco de freno, de tal manera que el comportamiento de los discos normales como ventilados en condiciones de temperatura, sea visualizada para comparar la eficiencia y rendimiento.

El procedimiento empleado en el proceso de frenado, consiste en transformar la energía cinética del vehículo en energía calorífica por medio de la fricción, disipándola al medio y a los otros elementos del sistema de frenos, por medio de la convección, radiación y conducción.

El dispositivo de monitoreo de temperatura en discos de freno a ser implementado pretende ser un instrumento eficaz de cálculo de la temperatura superficial en los discos de freno y así evitar el sobrecalentamiento en el sistema de frenos.

El presente documento cumple con los objetivos planteados, y constituye un recurso valioso para apoyar e incentivar la investigación de los estudiantes de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, debido a que el mundo actual globalizado demanda profesionales capaces de generar ciencia y conocimiento y con gran afinidad a la búsqueda de nuevas tecnologías para el aporte a la sociedad.

1.3 Alcance

Los resultados esperados de este trabajo de titulación se detallan a continuación.

- Estudio y rediseño de los discos de freno normales a ventilados con el fin de mejorar la eficiencia del frenado del vehículo.
- Disminución de accidentes de tránsito por sobrecalentamiento de los frenos en vehículos livianos.
- Adquisición de diferentes curvas características de los comportamientos de los discos de freno en las condiciones de temperatura al momento de frenar.
- Implementación de los discos ventilados y sistema de monitoreo de temperatura de los discos de freno.
- Disminución de distancia de frenado y de calor producido.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo general.*

- Rediseñar un disco normal de freno mediante el proceso de mecanizado y la implementación de sensores de temperatura con una memoria de adquisición de datos para comparar la eficiencia y rendimiento con un disco convencional.

1.4.2 *Objetivos específicos:*

- Rediseñar y mecanizar un disco de frenos convencional mediante software CAD y proceso de maquinado para que se comporte como un disco ventilado.
- Estudiar e implementar un sistema de monitoreo de temperatura de los discos de freno.
- Analizar el comportamiento del disco de freno en condiciones de temperatura.
- Comparar las curvas de eficiencia y temperatura de los dos tipos de discos de freno mediante la implementación de sistema de monitoreo de temperatura y una memoria de adquisición de datos para evidenciar los resultados.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.2 Introducción.

El sistema de frenos en todo vehículo tiene como función, permitir al conductor reducir la velocidad, hasta llegar a detenerlo el giro de los neumáticos en la menor distancia posible sobre todo los tipos de superficie del camino.

Los frenos son convertidores de energía, el efecto de frenado consiste en absorber la energía cinética producida por el movimiento del vehículo, energía que es transformada en calor o trabajo por el rozamiento entre los elementos del sistema de frenos, tales como zapatas, tambor, pastillas de freno con su disco, etc., y disipando el calor producido a la atmósfera, al sistema de frenos que también se le denomina extractores de energía.

En la acción de frenado intervienen otras fuerzas, además del sistema de frenos. De ellas destacan los rozamientos de los elementos mecánicos de la transmisión, la resistencia opuesta por el aire al desplazamiento del vehículo y el mismo motor.

Los frenos constituyen uno de los más importantes sistemas de seguridad de un vehículo. En virtud de ello, los fabricantes dedican mucho tiempo al desarrollo y diseño de los sistemas de frenado, es importante que la potencia de frenado sea mayor a la potencia del motor.

2.3 Principios de funcionamiento del sistema de freno.

Todos los sistemas de frenos se basan en dos principios básicos de la física.

- La ley de Pascal.
- La fricción.

2.3.1 La ley de Pascal.

Establece que la presión que se ejerce a un líquido confinado en un recipiente cerrado, la fuerza se transmite con la misma intensidad y sin disminución en todas las direcciones y sentido. (ÁGEDA et al., 2012, p. 18)

Matemáticamente se expresa de la siguiente forma:

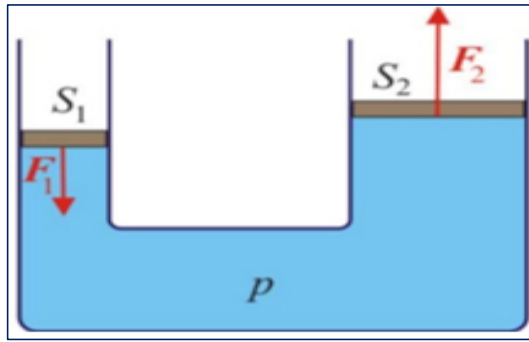


Figura 1-2: Ley de Pascal

Fuente: <https://pt.slideshare.net/DanielCortsBlasco/principio-de-pascal-36096245>

$$F = P \times S$$

Donde:

$$F = \text{Fuerza} (lb) \text{ ó } (N)$$

$$P = \text{Presión} \left(\frac{lb}{in^2} \right) \text{ ó } \left(\frac{N}{cm^2} \right)$$

$$S = \text{Área} (in^2) \text{ ó } (cm^2)$$

Durante una aplicación típica de frenos solo se desplaza aproximadamente 5 ml de fluido de frenos desde el cilindro maestro hasta el interior del sistema hidráulico para que ocurra la acumulación de presión. (ÁGEDA et al., 2012, p. 18)

2.3.2 La fricción.

La ley de conservación de la energía establece que “la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma”. La energía cinética y la calorífica son dos tipos de energía, la energía cinética es aquella energía que tienen los cuerpos al estar en movimiento y la energía calorífica es la energía que liberan dos cuerpos en forma de calor. Cuando un automotor se encuentra en circulación se tiene una cierta energía cinética y si queremos detenerlo tenemos que transformar esa energía cinética en energía calorífica. (FÍSICAENLINEA, 2016)

Lo anterior se logra mediante la fricción de materiales, que es la fuerza que se opone al movimiento entre dos objetos que se encuentran en contacto. La fricción de un material se determina por su coeficiente de fricción, designado por la letra griega μ (miu), donde $\mu = 0$ significa que no hay fricción entre las superficies en contacto y $\mu = 1$ significa que hay una fricción máxima entre las superficies de contacto. La codificación en cuanto a los coeficientes de fricción ha sido establecida por la SAE (Society of Automotive Engineers), según lo muestra la siguiente tabla: (FÍSICAENLINEA, 2016)

Tabla 1-2: Clasificación de los coeficientes de fricción.

Código	M
C	0,00-0,15
D	0,15-0,25
E	0,25-0,35
F	0,35-0,45
G	0,45-0,55
H	0,55- >
Z	Sin calificación

Fuente: <https://www.e-auto.com.mx/enew/index.php/85-boletines-tecnicos/6763-poder-de-frenado-el-coeficiente-de-friccion>

La fricción es directamente proporcional al peso del cuerpo, esto significa que conforme el cuerpo aumenta en peso también incrementa la fricción al ponerse en contacto con otro cuerpo. La fricción depende del material de cuerpo rozante, temperatura y acabado de la superficie del tambor o rotor. (e-auto.com.mx)

2.4 Elementos del sistema de frenos.

Todos los componentes del sistema de frenos entran en acción cuando la fuerza es transmitida mediante el pedal de freno al accionado por el conductor, se transmite al cilindro maestro, provocando la compresión del líquido de frenos en conductos del sistema. La fuerza aplicada sobre el eje del cilindro principal de freno va a estar en función de la geometría del pedal de freno, y esta fuerza nos definirá el grado de frenado del vehículo. (ÁGEDA et al., 2012, pp 450-452)

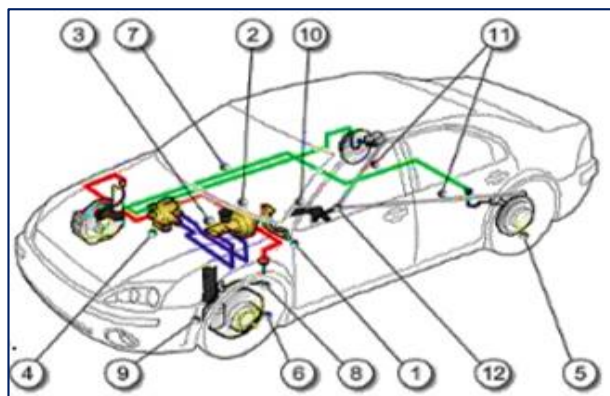


Figura 2-2: Elementos del Sistema de frenos.

Fuente: <https://es.slideshare.net/luisencoral/sistema-de-frenos-hidraulicosZapatas>

1. Pedal de freno.
2. Conjunto de servo-freno.
3. Cilindro maestro.
4. Válvula combinada.
5. Tambor y zapata de freno.
6. Disco y pastilla de freno.
7. Líneas de freno.
8. Latiguillo de freno.
9. Cáliper.
10. Palanca freno de estacionamiento.
11. Cable freno de estacionamiento.
12. Compensador de freno de estacionamiento.

2.4.1 *Pedal de freno.*

Es un mando que reside en una palanca que se opera por el pie del conductor y mediante el cual se acciona el mecanismo que sirve para disminuir la velocidad o detener un sistema mecánico que está en movimiento. (ÁGEDA et al., 2012, pp 450-452)

En todo vehículo el pedal de freno se encuentra en el centro del conjunto de pedales, a la derecha del embrague y a la izquierda del acelerador. Tienen una posición recíproca entre el acelerador y el freno, de la que depende la facilidad de efectuar la maniobra denominada punta-tacón. (ÁGEDA et al., 2012, pp 450-452)

El pedal de freno es utilizado para multiplicar la fuerza ejercida por el pie del conductor. De la estática elemental podemos comprobar como el incremento de la fuerza será igual a la fuerza aplicada por el conductor multiplicado por la relación del pedal de freno. (ÁGEDA et al., 2012, pp 450-452)

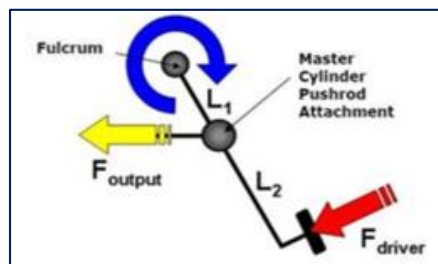


Figura 3-2: Pedal de freno

Fuente: (monografias. com)

$$F_s = F_E \times \frac{L_2}{L_1}$$

Donde:

F_s = Fuerza de salida

F_E = Fuerza de entrada

L_2 y L_1 = Longitudes del pedal

2.4.2 Conjunto de servo-freno

Todos los vehículos en la actualidad poseen un reforzador denominado como servo-freno, ubicado en el habitáculo del motor entre el pedal y cilindro principal de freno, el servofreno amplifica la fuerza de frenado utilizando la diferencia de presión atmosférica y de vacío del colector del motor. Esto aumenta la fuerza del pedal 2 a 4 veces, dependiendo del tamaño del diafragma. (ÁGEDA et al., 2012, pp 450-452)

Cuando se aplica presión al pedal de freno, se ejerce presión sobre la válvula de aire del servofreno. Con la presión creada por el servofreno funciona el cilindro maestro. (ÁGEDA et al., 2012, pp 450-452)

El servofreno está compuesto básicamente por dos cámaras separadas entre ellas por una pared móvil y un sistema de válvulas que permiten la comunicación entre una de esas cámaras y el exterior según si se está aplicando un esfuerzo en el pedal de freno, se deja de aplicar o el sistema se encuentra en posición de reposo. (ÁGEDA et al., 2012, pp 450-452)

La estanqueidad entre estas cámaras y el exterior debe asegurarse en todo momento, únicamente permitiendo el paso de vacío por la válvula atmosférica.

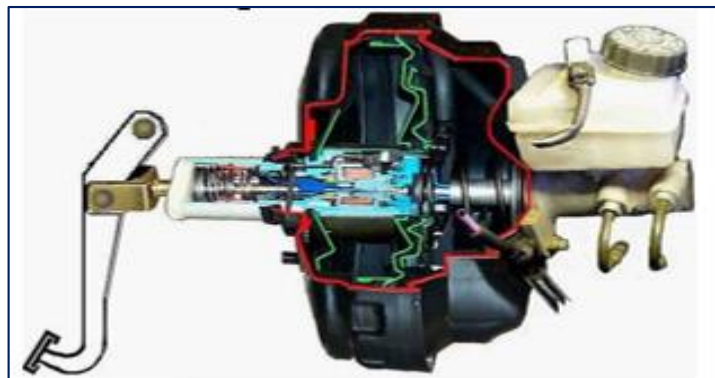


Figura 4-2: Servofreno.

Fuente: <http://www.circulaseguro.com/pisa-el-freno-5-multiplificacion>

2.4.3 Cilindro principal.

Es el corazón del Sistema hidráulico de frenos. El cilindro presuriza el fluido en el sistema cuando el conductor presiona el pedal.

El cilindro maestro es el encargado de convertir el movimiento del pedal del freno en presión hidráulica. (MATÍNES, 2002, pp. 234-236)

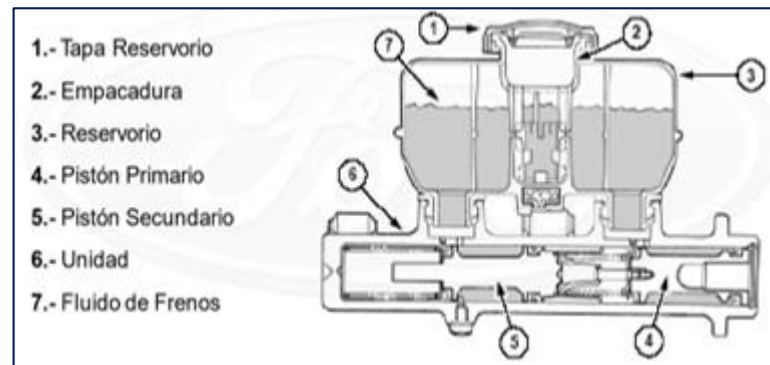


Figura 5-2: Cilindro Principal.

Fuente: (e-auto.com.mx)

El cilindro principal de freno tiene dos cámaras hidráulicas separadas. Esto crea en efecto dos circuitos hidráulicos de frenado separados. Si uno de estos circuitos falla, el otro circuito todavía puede funcionar para detener el vehículo. La distancia de frenado se incrementa significativamente, sin embargo, cuando se opera en un solo circuito de frenado, si esta falla, no hay forma de detener el vehículo. Esta es una de las características de los vehículos de seguridad más importantes. (MATÍNES, 2002, pp. 234-236)

2.4.4 Válvula combinada

Integra un conjunto de válvulas como: dosificadora, compensadora y la presión diferencial.

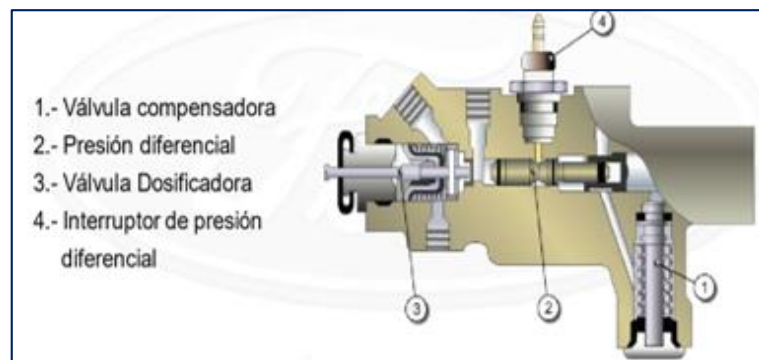


Figura 6-2: Válvula Combinada.

Fuente: <https://es.slideshare.net/luisencoral/sistema-de-frenos-hidraulicos>

2.3.4.1 Válvula dosificadora.

Emplea en vehículos de tracción trasera equipados con frenos de disco en las ruedas delanteras y de tambor en las ruedas posteriores, con un sistema hidráulico dividido delantero – posterior. (MATÍNES, 2002, pp. 234-236)

Como los frenos de tambor tienen resortes de retroceso muy fuertes y los frenos de disco no los tienen, entonces los frenos de disco responden más rápidamente al pisar el pedal de frenos. (MATÍNES, 2002, pp. 234-236)

La válvula dosificadora se instala en el circuito hidráulico que van a los frenos de disco. Está diseñada para retardar la aplicación de los frenos de disco una fracción de segundos y permitir que los frenos de tambor comiencen a frenar aproximadamente al mismo tiempo. (MATÍNES, 2002, pp. 234-236)

2.3.4.2 Válvula compensadora.

También denominados de control de presión su objetivo es alterar la presión de frenado entre los frenos delanteros y posteriores según la carga del vehículo.

Cuando se pisa el pedal de freno en forma ligera o moderada, la fuerza del resorte es mayor que la fuerza creada por la presión hidráulica y la válvula permanece abierta y el frenado trasero es moderado.

Cuando la presión aumenta para producir un frenado brusco, la fuerza de la presión supera la fuerza del resorte y cierra la válvula, ocasionando que los frenos traseros patinen (derrapen) más suavemente y evitando que todo el peso se vaya hacia adelante. (MATÍNES, 2002, pp. 234-236)

2.4.5 *Tambor y zapatas de freno.*

Tambor, es el elemento móvil, montado sobre el buje de la rueda, de fabricación en fundición gris perlítica con grafito esferoidal, material que se ha impuesto por su elevada resistencia al desgaste y que absorbe bien el calor producido por el rozamiento en el frenado para que se acople las zapatas tiene un fino mecanizado en su interior. (F. MEZQUITA, 2001, pp. 12.26- 12.30)

2.3.5.1 Tambor.

Es elemento mecánico que constituye la parte giratoria del freno y que recibe en su totalidad el calor desarrollado en el frenado. (F. MEZQUITA, 2001, pp. 12.26- 12.30)



Figura 7-2: Tambor de freno.

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/frenos-2.htm>

El tambor va torneado interior y exteriormente para obtener un equilibrado dinámico del mismo, con un mecanizado fino en su zona interior o de fricción para facilitar el acoplamiento con los ferodos sin que se produzcan agarrotamientos. (F. MEZQUITA, 2001, pp. 12.26- 12.30)

El diámetro de los tambores, según las características del vehículo, esta normalizado según la norma UNE 26 019. (F. MEZQUITA, 2001, pp. 12.26- 12.30)

2.3.5.2 Zapatas.

Están formadas por dos chapas de acero soldadas en forma de media luna y recubiertas en su zona exterior por los ferodos o forros de freno, que son los encargados de efectuar el frenado por fricción con el tambor. (F. MEZQUITA, 2001, pp. 12.26- 12.30)

Los forros de freno se unen a la zapata metálica por medio de remaches embutidos en el material hasta los 3/4 de espesor del forro para que no rocen con el tambor, o bien pegados con colas de contacto. El encolado favorece la amortiguación de vibraciones y, como consecuencia, disminuyen los ruidos que éstas ocasionan durante el frenado. (F. MEZQUITA, 2001, pp. 12.26- 12.30)



Figura 8-2: Zapatas de freno.

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/frenos-2.htm>

2.4.6 Disco de freno.

Instalado en la mayoría de los vehículos livianos en frenos delanteros, que convierte la energía cinética producido por el movimiento del vehículo en energía de calor, y que esta provoca la reducción de la velocidad, esto se cumple mediante el rose de las pastillas de freno con el disco, en momento que el conductor acciona el pedal de freno, a la vez tiene que tener la capacidad de disipar el calor producido al momento de frenar en un tiempo mínimo. (F. MEZQUITA, 2001, pp. 12.46 - 12.47)



Figura 9-2: Conjunto de Disco de Freno.

Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn74.html>

Tipos de discos de freno. Entre los más comunes se tiene:

2.3.6.1 Discos sólidos.

Utilizado en vehículos de bajo cilindraje y potencia en donde no existe una existencia extrema del freno ya que no disipa de manera eficiente el calor, y también utilizado en frenos posteriores y conocido como disco sin ventilación. (F. MEZQUITA, 2001, pp. 12.46 - 12.47)

2.3.6.2 Discos convencionales.

Actualmente montado en la mayoría de vehículos ligeros y de turismo, presenta mayor desempeño y seguridad de frenado en todo el sistema, están compuestos de dos pistas separadas por aletas en su interior. Estas aletas garantizan mejor disipación de calor, mayor vida útil, menor probabilidad de pandeo y fisuras por recalentamiento. (F. MEZQUITA, 2001, pp. 12.46 - 12.47)

2.3.6.3 Discos ventilados.

Utilizado en vehículos deportivos, cuenta con la tecnología exclusiva pilar de ventilación, lo que mejora la capacidad de disipación de calor y aumenta la resistencia a las grietas causadas por el choque térmico en más de 40%. Presentan también mejor disipación del material que se desbasta en el proceso de frenado y de igual manera mejor disipación de vapor que se produce por el calentamiento y fricción de los materiales, y están hechas de hierro fundido de alto carbono para mejorar la resistencia térmica y mecánica a altas velocidades. (F. MEZQUITA, 2001, pp. 12.46 - 12.47)

2.3.7 Pastillas de freno.

Estos elementos mecánicos proporcionan la fricción necesaria a los discos de freno de tal forma que cuando accionamos el pedal, nuestro vehículo se detiene, todas las pastillas de freno poseen una superficie de metal que soporta al forro, y también se le conoce como balatas. (MORALES et al.,2002, p. 239)

Los elementos de frenos como las pastillas están sometidos al desgaste por el contacto con el disco de freno por lo que necesitan cambios periódicos en el mantenimiento del sistema de freno.



Figura 10-2: Pastillas de freno.

Fuente: <https://www.icerbrakes.com/productos/vehiculo-industrial/pastillas-de-freno>

Las pastillas están diseñadas para producir una alta fricción contra el disco. El material del que estén compuestas determinara la duración, potencia de frenado y su comportamiento en condiciones adversas. (MORALES et al.,2002, p. 239)

Entre los tipos de pastillas más comunes se tiene:

2.3.7.1 Pastillas cerámicas.

Este tipo de pastillas están compuestas por cerámica y fibra de cobre, lo que permite que las pastillas de este tipo controlen la tendencia del freno a perder potencia a temperaturas más altas

y se recuperen de manera más rápida luego de detener el vehículo o móvil del disco. (MORALES et al.,2002, p. 239)

2.3.7.2 *Orgánicas.*

Están compuestas por materiales comunes y algunos con el grafito, resinas y fibras, estas son de una inmejorable calidad y adherencia al frenar, generan menos calor que las metálicas y este tipo de pastillas necesita un rodaje en los primeros kilómetros. (OROSCO, 2008, pp. 402-405)

2.3.7.3 *Semi-metálicas o metálicas.*

Están compuestas por materiales de fricción como el hierro, la fricción en condiciones de seco y mojado no varían demasiado, por lo que tiene mejor frenada en condiciones de mojado que los otros tipos de pastilla. La duración es muy elevada, llegando a alcanzar los 15.000 kilómetros. El calor desprendido es mucho mayor que los otros tipos. (MORALES et al.,2002, p. 239)

2.3.8 *Líneas de freno.*

Es una serie de tubos de metal y de goma, que se encargan de llevar el fluido de frenos por todo el circuito. Uno de los principales tipos de accesorios de la línea de frenos es la tuerca asociada donde se necesita una prueba de agua o sello hermético. (MORALES et al.,2002, p. 239)

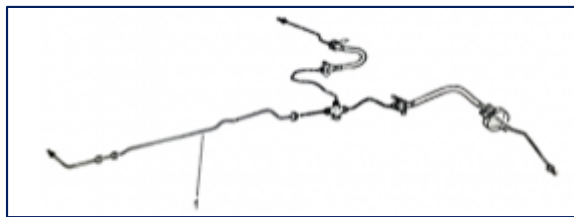


Figura 11-2: Líneas del Sistema de Frenos.

Fuente: <http://www.monroebrakes.com/support/map-standards-of-service?lang=esSus>

Principales características de las líneas de Frenos son:

- Soportar los altos niveles de presión que genera el sistema.
- Los tubos metálicos llevan el fluido a lo largo del chasis y otros componentes.
- Líneas de goma especial se usan en zonas de movilidad y flexibilidad.
- Están hechas de Neopreno con trenzado de acero para poder soportar todo tipo de condiciones meteorológicas adversas y los cambios de temperaturas del fluido.

2.3.9 *Latiguillo de freno.*

En prácticamente todos los coches de producción se usan unos tubos flexibles para unir los conductos metálicos y rígidos (por los que circula el líquido de frenos) con las pinzas de freno. Estos tubos flexibles son necesarios porque la mangueta, a donde pinza, disco y neumático están sujetos, oscila con los movimientos de la suspensión del vehículo. Si estos tubos fueran rígidos, al mínimo movimiento se romperían. (MORALES et al.,2002, p. 243)



Figura 12-2: Latiguillos de Freno.

Fuente: <http://xilibar.es/recambios/frenado/latiguillos-de-frenos/gmx-niv150.htm>

2.3.10 *Cáliper.*

Es el elemento mecánico que alberga las pastillas y pistones de freno, se encuentra colocada en posición fija en el eje de la rueda, pero no gira con el conjunto de la rueda, su función principal es recibir la presión de frenado por medio del líquido de frenos al presionar el pedal por medio de uno o varios pistones apretar las pastillas contra el disco, disminuyendo el giro de los neumáticos hasta llegar a detenerlo. (ALONSO PÉREZ, 2008, pp. 229-231)



Figura 13-2: Cáliper.

Fuente: <https://mecanicabasicacr.com/frenos/por-que-se-dana-un-caliper-o-mordaza-de-freno.html>

Este tipo de dispositivo por su propia función debe ser capaz de soportar altas temperaturas, es claro que la fricción entre las pastillas y discos genera altas temperaturas que en algún porcentaje

importante terminan por trasladarse a la mordaza de freno. (ALONSO PÉREZ, 2008, pp. 229-231)

Existen dos tipos de mordaza o cáliper.

- Cáliper flotantes.
- Cáliper fijos.

2.3.10.1 Cáliper flotantes.

No son fijas, se mueven por medio de los pasadores deslizantes, gozan de un peso más ligero en comparación con los sistemas fijos, su operación necesita de menos piezas por lo cual son sistemas más baratos. Son instalados en la mayoría de vehículos. (ALONSO PÉREZ, 2008, pp. 229-231)

2.3.10.2 Cáliper fijo.

No tienen ningún tipo de movimiento más que la salida de los propios pistones al presionar las pastillas, este tipo de cáliper va sujetado firmemente a la bocina, por lo general poseen más de un pistón pues deben presionar tanto las pastillas internas como las externas, debido a que tienen un pistón como mínimo para cada pastilla distribuyen mejor la presión de frenado generando cierta suavidad al momento de frenar, esto lógicamente percibido por el conductor al presionar el pedal, el sistema de cáliper fijo es relativamente más caro que el flotante y no tiene significativamente mayores ventajas operacionales por lo cual en la mayor parte de casos son instalados en vehículos de gama alta. (ALONSO PÉREZ, 2008, pp. 229-231)

2.5 Transferencia de calor en los frenos.

Durante el proceso de frenado, la energía cinética producida por el movimiento del vehículo, es convertida en energía térmica a través de la interfaz de disco de fricción y las balatas de freno. El calor de fricción se genera en la superficie de elementos rasantes debido a las interacciones entre balatas y el disco. El disco de freno absorbe hasta el 90% del calor generado. La energía se disipa al aire circundante. La radiación también ayuda a disipar la energía térmica almacenada en el rotor cuando la temperatura es alta. (LUQUE et al., 2005, p. 426)

2.5.1 Calor producido en el disco de freno.

Si se considera a dos elementos mecánicos que se deslizan uno contra otro, donde el disco se está moviendo con una velocidad relativa (V_p) al área de contacto entre los elementos mecánicos, y las balatas están fijo a la misma área de contacto. El índice total de energía disipada producida por el contacto de las pastillas y el disco de freno, está determinado por la fuerza de fricción y la velocidad relativa. Asumiendo que la totalidad de la energía es disipada en forma de calor, en la superficie de contacto real, entonces el calor total generado por unidad de área está dado por: (LUQUE et al., 2005, p. 426)

$$Q_{total} = \mu \times p \times V_p$$

Q_{total} = Calor que absorbe el disco de freno. $[W/m^2]$
 μ = Factor de fricción entre las balatas y el disco de freno. [adimensional]
 p = Presión ejercida por el disco de freno. $[N/m^2]$
 V_p = Velocidad inicial del disco de freno. $[m/s]$

2.5.2 Energía disipada en el frenado.

Para un vehículo desacelerándose sobre una superficie plana, la energía disipada como calor durante la frenada “ E_f ” para llevarlo desde una velocidad “ V_i ” a una velocidad “ V_f ”, está dada por: (LUQUE et al., 2005, p. 426)

$$E_f = \frac{i \times m \times (V_i^2 - V_f^2)}{2}$$

Donde:

E_f = Energía disipada durante la frenada. [J]
 i = Factor de corrección para masas rodantes, para vehículos livianos. $[1,05 \leq i \leq 1,5]$
 m = Masa del vehículo. [Kg]
 V_i = Velocidad al inicio del frenado. $[m/s]$
 V_f = Velocidad al final del frenado. $[m/s]$

La transferencia de carga o reparto de peso a los ejes, en condiciones dinámicas, es aproximadamente. (LUQUE et al. 2005, p. 426)

- Eje delantero: 75% del peso total.
- Eje delantero: 25% del peso total.

Por lo tanto, el calor que se disipa en el sistema de freno para el eje delantero (E_d), que es donde está instalado normalmente el sistema de freno de disco en un vehículo estándar es: (LUQUE et al., 2005, p. 426)

$$E_d = E_f \times 0.75$$

La distribución de calor a los ejes se realiza en la misma proporción a la transferencia de carga.

Alrededor del 90% del calor producido durante el frenado es acumulado por el disco, y el 10% es acumulado por las pastillas, la energía que disipa la pastilla (E_p) y el disco (E_{d1}) son respectivamente: (LUQUE et al., 2005, p. 426)

$$E_p = E_d \times 0.1$$

$$E_{d1} = E_d \times 0.9$$

El eje delantero posee un par de discos de freno, que van unidos al eje por lo que cada disco de freno absorbe la mitad de la energía (E):

$$E = E_{d1}/2$$

2.5.3 Cálculo de la temperatura final.

Para determinar la temperatura de roce entre dos cuerpos, se deben considerar deslizándose uno sobre otro a una velocidad relativa.

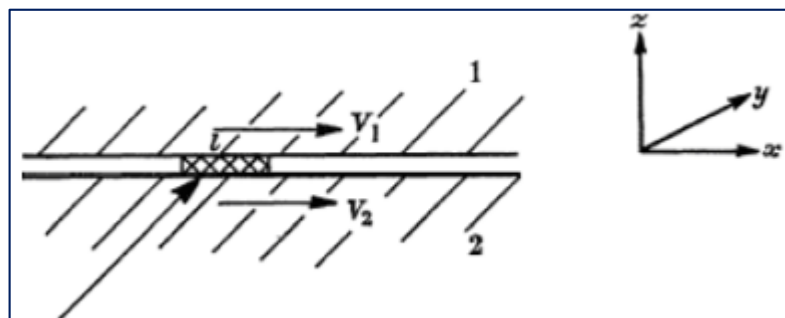


Figura 14-2: Deslizamiento de dos Cuerpos.

Fuente: (CARRANZA & BELTRAN., 2003)

La ecuación diferencial para la conducción térmica según Fourier para el estado sólido, establece las relaciones funcionales entre la variación térmica espacial para un punto cualquiera de un cuerpo y el tiempo que lo define. Donde la ecuación característica es determinada con la ayuda de la Ley de la Conservación de la Energía: (CARRANZA & BELTRAN., 2003, pp. 77-79)

$$\nabla^2 T = \frac{1}{K} \frac{dT}{dt} \text{ o } \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{K} \frac{\partial T}{\partial t}$$

Donde "K" se denomina como la difusividad térmica y está dada por:

$$K = \frac{\lambda}{P \times C}$$

Donde:

K = Difusividad térmica. $[m^2/s]$

λ = Conductividad térmica. $[W/mK]$

P = Peso específico. $[kg/m^3]$

C = Calor específico. $[m^2/s^2K]$

Fuente de calor en movimiento, en un cuerpo estacionario o fuente de calor inmóvil en un cuerpo móvil. El concepto más importante es el movimiento relativo que se genera entre la fuente de calor y el cuerpo. (CARRANZA & BELTRAN., 2003, pp. 77-79)

Considerando un cuerpo semi-infinito que se mueve con una velocidad " V_p " en la dirección " x " sobre el cual se encuentra una carga de calor " q_{total} ".

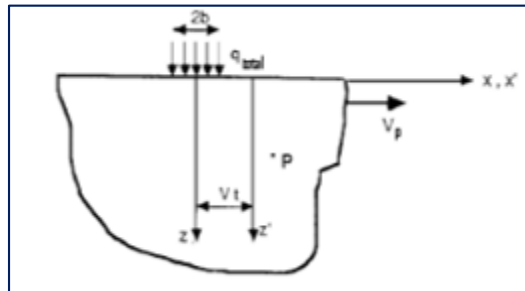


Figura 15-2: Carga de Calor.

Fuente: (CARRANZA & BELTRAN., 2003)

$$\Delta T = \int_{-b}^b \frac{q_{total}}{\pi \times \lambda} e^{\frac{V_p(x-x')}{2k}} \times K_0 \left\{ \frac{V_p}{2k} [(x-x')^2 + z^2]^{1/2} \right\} dx'$$

Donde:

ΔT = Diferencia de temperatura generada a partir de la frenada. $[K]$

q_{total} = Calor que absorbe el disco de freno. $[W/m^2]$

λ = Conductividad térmica. $[W/mK]$

K_0 = Función modificada de Bessel, de segunda clase y orden cero, para un estado térmico cuasi – estacionario ($t \rightarrow \infty$).

La Fig. 15 grafica el resultado de la ecuación anterior como factor T donde este al ser multiplicado por la ecuación ΔT determina la variación de temperatura que se produce en el disco de freno. El resultado de esta diferencia depende en gran parte del número adimensional de Peclet, “Pe”, ver ecuación 15. (CARRANZA & BELTRAN., 2003, pp. 77-79)

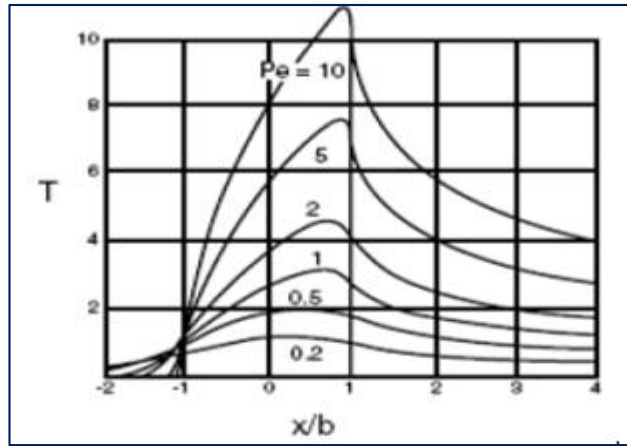


Figura 16-2: Número Adimensional de Peclet.
Fuente: (CARRANZA & BELTRAN., 2003)

Aumento de la temperatura superficial para un sólido semi-infinito, causado por la fricción de contacto de un cuerpo de dimensiones $2b$ que se desliza con una velocidad.

$$\Delta T = T \left(\frac{\pi \times \lambda \times V_p}{2k \times q_{total}} \right)$$

Donde:

ΔT = Diferencia de temperatura generada a partir de la frenada. [K]

T = Factor de temperatura

q_{total} = Energía que absorbe el disco de freno. $[W/m^2]$

λ = Conductividad térmica. $[W/mK]$

k = Difusividad térmica. $[m^2/s]$

V_p = Velocidad inicial del disco de freno. $[m/s]$

$$Pe = \frac{V_p \times b}{2 \times k}$$

Donde:

V = Velocidad de desplazamiento. $[m/s]$

b = Mitad de la longitud de la pastilla de freno. [m]

k = Difusividad térmica. $[m^2/s]$

En el caso de que el número de Peclet, sea ≥ 10 , la temperatura máxima va a ocurrir en la parte trasera del arrastre. En tal caso el máximo aumento de temperatura va a ocurrir cuando $x = b$, y está dado por:

$$\Delta T_{max} = \frac{2q_{total} \times b}{\lambda \sqrt{\pi \times pe}}$$

Donde:

q_{total} = Energía que absorbe el disco de freno. $[W/m^2]$

λ = Conductividad térmica. $[W/mK]$

b = Mitad de la longitud de la pastilla de freno. $[m]$

Pe = Numero de pecket. $[adimencional]$

Es posible observar que el máximo calor generado decrece a medida que la velocidad aumenta (o a medida que el Peclet aumenta). Esto es debido a la naturaleza del traspaso térmico a un cuerpo móvil. (CARRANZA & BELTRAN., 2003, pp. 77-79)

Es posible observar en la Figura la distribución de la temperatura, dependiendo del número de Peclet.

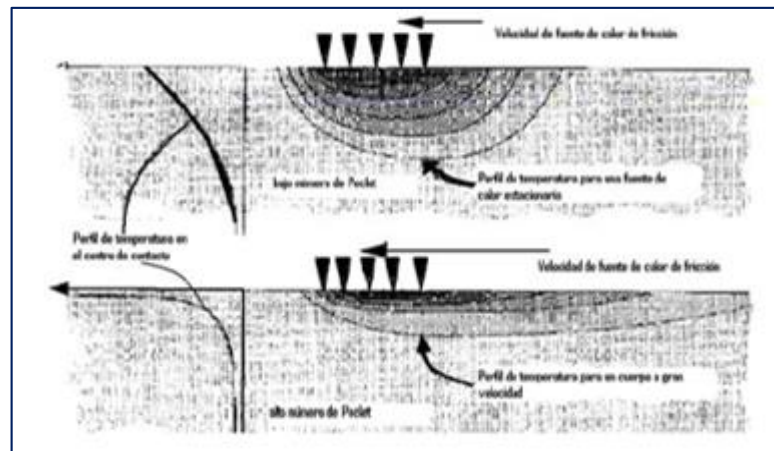


Figura 17-2: Distribución de Temperatura.

Fuente: (CARRANZA & BELTRAN., 2003)

2.5.4 Disipación de calor de los discos de freno.

En el proceso de frenado la energía cinética se disipa en forma de calor, producto de la fuerza de roce. La disipación de energía se presenta de las tres formas conocidas conducción, convección y radiación, para efectos de cálculo se asumirá que la energía se disipara por conducción y convección, la definición termodinámica de calor, es una forma de energía en tránsito, que se manifiesta debido a una diferencia de temperaturas. (FRANK P., 1999, pp. 3-6)

2.5.4.1 *Conducción.*

Es la transferencia de calor que ocurre a través del medio en el cual existe un gradiente de temperaturas. Puede tomar lugar en sólidos, líquidos y/o gases. (FRANK P., 1999, pp. 3-6)

2.5.4.2 *Convección.*

Se refiere a la transferencia de calor que ocurrirá entre una superficie y un fluido en movimiento como resultado de la diferencia de temperaturas entre la superficie y el fluido. (FRANK P., 1999, pp. 3-6)

2.5.4.3 *Ley de Fourier.*

Es la ley de la física que describe matemáticamente el mecanismo de transferencia de calor por conducción. Según ésta ley el flujo de calor por conducción se determina de la siguiente forma: (FRANK KREITH, 2011, pp. 16-17)

$$q_x = -\lambda A \frac{dT}{dx}$$

Donde:

$q_x = \text{Flujo de calor por conducción. } [W/m^2]$

$A = \text{Área transversal. } [m^2]$

$dT/dx = \text{Gradiente de temperatura. } [K/m]$

$\lambda = \text{Conductividad. } [W/mK]$

El signo menos que aparece en la ley de Fourier, es una consecuencia para satisfacer la segunda Ley de la Termodinámica, que para este caso impone que el flujo de calor debe darse siempre desde la región de mayor temperatura hacia la región de menor temperatura. (FRANK KREITH, 2011, pp. 16-17)

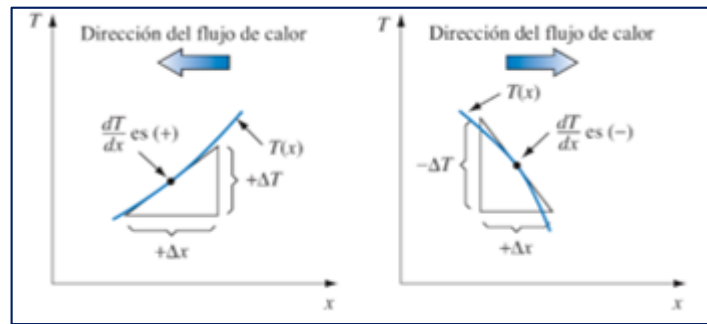


Figura 18-2: Dirección del Flujo de Calor.

Fuente: (FRANK KREITH, 2011)

En la Figura se ilustra que, si el gradiente de temperaturas es negativo el flujo de calor, según el sistema de coordenadas señalado debe ser positivo, y en caso de ser el gradiente de temperaturas positivo, el flujo de calor debe ser negativo. (FRANK KREITH, 2011, pp. 16-17)

La conductividad térmica representa la cantidad de calor que fluirá por unidad de tiempo a través de un área unitaria, cuando el gradiente de temperatura es unitario. Además la cantidad de calor es proporcional al gradiente de temperatura $\left(\frac{dT}{dx}\right)$. (FRANK KREITH, 2011, pp. 16-17)

2.5.4.4 Ecuación de enfriamiento de Newton.

La transferencia de calor por convección se compone por dos mecanismos que operan al mismo tiempo. El primero es la transferencia de energía generada por el movimiento molecular, es decir, el modo conductivo. Superpuesto se encuentra la transferencia de energía mediante el movimiento microscópico de fracciones del fluido, cada una integrada por un gran número de moléculas, que se mueven por la acción de una fuerza externa. Esta fuerza puede ser el resultado de un gradiente de densidad, como en la convección natural, o de una diferencia de presiones generadas por una bomba, o un ventilador, o quizá la combinación de ambos. (FRANK KREITH, 2011, pp. 16-17)

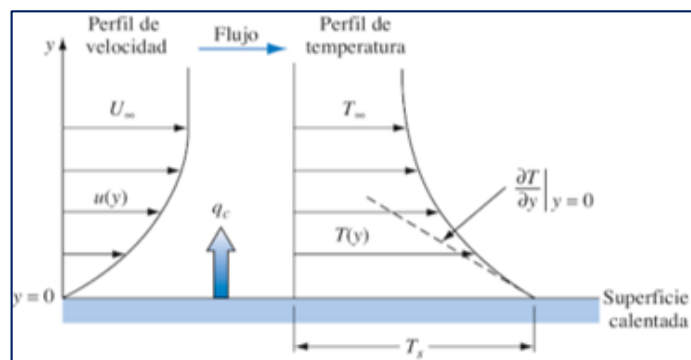


Figura 19-2: Enfriamiento de Newton.

Fuente: (FRANK KREITH, 2011)

La Figura muestra una placa que posee una temperatura “ T_s ” y un fluido con una temperatura “ T_∞ ” que fluye en forma paralela a ella. A consecuencia de las fuerzas de la viscosidad, la velocidad del fluido será cero en la pared y se incrementará a “ U_∞ ” como se indica en la figura. Como el fluido no está en movimiento en la interface, el calor se transfiere en ese lugar por conducción. Si se conociera el gradiente de temperatura y la conductividad térmica en esta interface, se podría calcular la razón de transferencia de calor en la ecuación. (FRANK KREITH, 2011, pp. 16-17)

$$q^{conv} = h \times A(T_s - T_\infty)$$

Donde:

q^{conv} = Flujo de calor convección. [W]

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección. $[W/m^2K]$

A = Área de contacto entre el flujo y la pared. $[m^2]$

T_s = Temperatura de la placa. [K]

T_∞ = Temperatura del medio. [K]

En la ecuación de Newton, (h) no es una propiedad termo física ya que depende de una gran variedades de factores tanto geométricos como fluido dinámicos.

2.6 Problemas en los discos y pastillas de freno por altas temperaturas.

En el sistema de frenos encontraremos una relación paralela entre el incremento de la temperatura de sus componentes en base al intervalo de uso que se le dé al sistema, las altas temperatura en los discos, pastillas de freno, tambores y zapatas siempre estarán presentes pues la fricción existente entre ellos cuando utilizamos el sistema provocara un acelerado incremento de la temperatura, sin embargo como en todo existen límites, si se sobre pasa el límite de temperatura terminaremos por perder en gran cantidad las propiedades del sistema de frenos provocando que no podamos detener el vehículo en la distancia a la cual siempre estamos acostumbrados. (CAUTLE et al., 2018, p. 9)

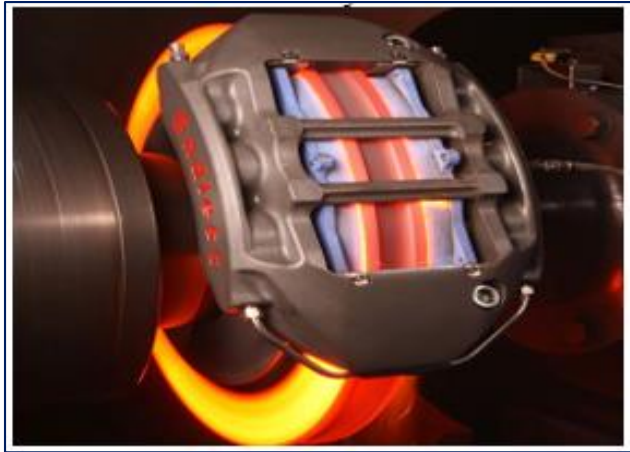


Figura 20-2: Problemas de Disco y Pastilla de Frenos.

Fuente: <http://www.ampolletaschile.cl/2008/01/21/liquidos-para-frenos/>

2.6.1 Pérdida de eficacia de los frenos (*fading*).

Se trata de uno de los fenómenos más peligrosos que se pueden dar en un sistema de frenos, consiste en una falta de eficacia en la frenada ante una utilización abusiva de ello. (CAUTLE et al., 2018, p. 9)

El material de fricción presenta distintos valores de coeficiente a diferentes temperaturas, si este coeficiente de fricción comienza a bajar demasiado rápido y a una temperatura relativamente baja; se producirá el fenómeno del fading cuando la temperatura del sistema sea superior a ese límite que presenta el material de fricción, con lo cual el coeficiente caerá y la eficacia de frenado se verá reducida. (CAUTLE et al., 2018, p. 9)

El fading es fácilmente perceptible en el vehículo, ya que a medida que intentemos frenar vamos a notar como el pedal cada vez se va más al fondo para obtener la misma deceleración y en consecuencia hay que aplicar mayor presión sobre el pedal de freno. En esta situación la sensación de frenado es reducida. Intentaremos parar el vehículo, pero este no se detendrá. El aumento de la carrera de pedal es debido no solo a la compresibilidad de las pastillas, si dicha compresibilidad es demasiado alta en caliente, sino también a la caída del coeficiente de fricción por el efecto de la temperatura. (CAUTLE et al., 2018, p. 9)

2.6.1.1 Como detectar el *fading*.

El fading es fácilmente perceptible si se presta atención ya que hay unos síntomas muy claros que pueden ponerte en alerta, como, por ejemplo, tener que presionar más el pedal del freno para lograr frenar. (CAUTLE et al., 2018, p. 9)

2.6.1.2 *Cómo prevenir el efecto fading.*

Este efecto tan peligroso para la seguridad se puede prevenir. Los frenos y el sistema de detención en su conjunto son uno de los principales elementos activos del vehículo en materia de seguridad, por ello, lo básico y primordial es llevar un buen mantenimiento del sistema de frenado y del vehículo en general. (CAUTLE et al., 2018, p. 9)

Tanto las pastillas, los discos como el líquido de frenos sufren desgaste con el paso del tiempo y por ello hay que comprobarlos y cambiarlos en el momento oportuno o cuando lo indica el fabricante. Para ello pide asesoramiento en tu taller Autofit. De igual modo, los frenos se desgastarán antes si se usan en exceso, es decir, un uso prolongado de los mismos en pendientes puede contribuir a ello. (CAUTLE et al., 2018, p. 9)

2.6.2 *Judder.*

Es un fenómeno debido a las vibraciones del sistema. Es decir, las vibraciones se hacen, más o menos palpables para el conductor, dependiendo en gran medida, del conocimiento de su propio vehículo. El judder puede ir acompañado por ruido aunque siempre de baja frecuencia, ya que recordemos que el ruido está producido por las vibraciones que alcanzan las frecuencias audibles. (Manual técnico de freno)

El judder está clasificado en dos grupos:

- Judder “frío” (cold judder)
- Judder “caliente” (hot judder)

2.6.2.1 *Judder “frío” (cold judder).*

Vibraciones provocadas por imperfecciones de los discos tales como defectos de mecanizado en origen, o por defectos de montaje, holguras excesivas. Esto significa, todas aquellas causas que provoquen un aumento de la deformación del disco. Este cold judder se suele ocasionar a baja presión y baja desaceleración. El paso de las pastillas por estas imperfecciones provoca las vibraciones al ser repelidas contra el pistón. El cold judder puede ser notado tanto en el pedal, como en el volante, si este judder es muy acentuado se notará como vibraciones, como ruidos o ambos. Obviamente la calidad de las pastillas de freno puede aumentar o reducir el problema. (Manual técnico de freno)

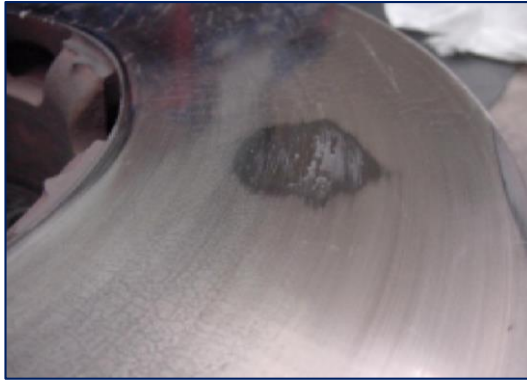


Figura 21-2: Holguras en los Discos de Freno.

Fuente: <http://tusfrenos.mx/discos-y-rotor-uso-intensivodisco-fisuradogrietas/>

2.6.2.2 Judder “caliente” (*hot judder*).

Vibraciones que aparecen a alta temperatura durante procesos de frenado a presiones medias y velocidades altas ya que las frenadas en estas condiciones se alargan mucho en el tiempo, y la temperatura aumenta bastante hasta valores de 400°C a 500°C. Se produce hot judder cuando la fricción entre las pastillas – discos es más elevada en alguna de las zonas del disco. En esa zona, la energía que se disipará será mayor con lo cual la temperatura será más alta aumentando rápidamente. Las vibraciones aparecen en los puntos calientes, que suelen estar distribuidos regularmente por el área del disco. (Manual tecnico de freno)

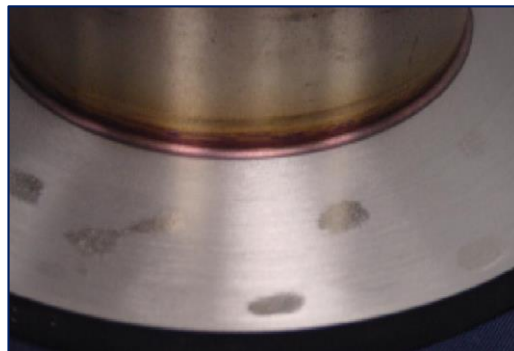


Figura 22-2: Presencia de Imperfecciones en Disco de Freno.

Fuente: <http://tusfrenos.mx/discos-y-rotor-uso-intensivodisco-fisuradogrietas/>

Cuando estos puntos calientes se enfrían crean manchas oscuras o zonas de distinta coloración siendo más o menos visibles. Estas manchas son el resultado de la transformación de la estructura del material del disco. La estructura pasa de estar compuesta por un grafito laminar a ser de cementita. Esta estructura se caracteriza por su elevada dureza. Este cambio de estructura suele estar ocasionado por el propio material de fricción, el cual tenga alguna zona donde su coeficiente varíe, ya que puede deberse a incrustaciones de materias primas mal Mancha de “cold judder”.

Manchas de “hot judder” mezcladas o simples variaciones de coeficiente por efecto de la temperatura en las distintas zonas de la pastilla de freno. (Manual tecnico de freno)

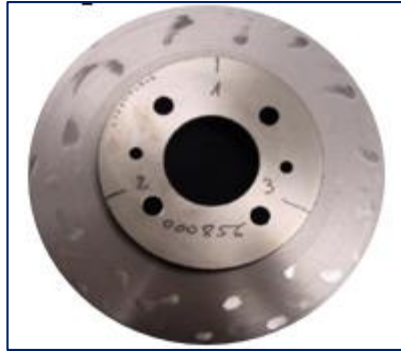


Figura 23-2: Desgaste Prematuro del Disco.

Fuente: <http://tusfrenos.mx/discos-y-rotores-uso-intensivodisco>
- fisuradogrietas//

La estructura del material del disco que se ha transformado ha pasado a ser cementita (Fe_3C), estructura que se caracteriza por su elevada dureza, con lo que si se sigue frenando en estas circunstancias, estas zonas se desgastaran menos, contribuyendo a acrecentar las vibraciones. El rectificado de los discos no solucionará este problema. Por ello, el efecto del hot judder es uno de los defectos más estudiados, que intentan ser eliminados con la investigación de nuevas calidades de materiales de fricción que puedan ofrecer una relación de compresibilidad en caliente y conductividad térmica adecuada para evitar en lo posible dicho problema, que va en aumento en las últimas generaciones de vehículos con masas no suspendidas más ligeras. Es decir, las ruedas, las suspensiones, las pinzas de freno, etc. cada vez se fabrican en materiales más ligeros como el aluminio que reducen el peso del conjunto y hacen más fácil su excitación. (Manual tecnico de freno)

2.6.3 *Ruido.*

Los ruidos que se producen el sistema de freno vienen derivados de las vibraciones a las que son sometidas tanto las pastillas, como los discos, los portapastillas, las pinzas, etc. debido al hecho de estar sometidos a un contacto entre varios elementos donde existe fricción entre ambos elementos. Aunque pueda parecer que durante el frenado las pastillas y el disco se encuentran en un contacto perfecto no es así, ya que las pastillas están siendo sometidas, al igual que el resto del sistema, a constantes microgolpes, que producen las vibraciones. Recordemos que cualquier material cuando es sometido a una percusión tiende a vibrar de una forma característica, es decir, sus modos de vibración dependerán de su masa, su densidad, su módulo de elasticidad, etc. (Manual tecnico de freno)

Los ruidos se producen cuando esa vibración coincide con una frecuencia propia de algún elemento de los que compone el sistema, bien puede ser el portapastillas, la pinza, la mangueta...

esto quiere decir que los ruidos si bien están causados por la fricción entre discos y pastillas, estos son simplemente los excitadores del sistema. (Manual tecnico de freno)

Recordemos que para que se produzca un ruido necesitamos 3 elementos fundamentales, estos son: el excitador, el resonador y el propagador. Al igual que cuando cualquiera de nosotros habla, el excitador son nuestras cuerdas vocales que vibran produciendo ondas en el aire, que es el propagador, teniendo como resonador nuestra laringe. En el caso del sistema de freno el excitador son las pastillas que producen las vibraciones sobre el disco, que suele ser el resonador y lo que no varía es el propagador que sigue siendo el aire. (Manual tecnico de freno)

El ruido es una de los principales problemas del sistema de frenos, ya que, puede llegar a ser impredecible. En muchos casos el ruido se produce en una determinada serie de un modelo mientras que en la siguiente serie de n° de chasis del mismo modelo no se produce. Existe la posibilidad que pequeños cambios en los hábitos de conducción, estado de carga o condiciones medio ambientales dan lugar a la aparición de chirridos. (Manual tecnico de freno)

2.6.3.1 Como evitar que se produzca el ruido.

Los desarrollos iniciales de las formulaciones, están encaminados a que este y otros efectos indeseables no aparezcan. Pero el rango de factores que afectan a este efecto, obliga a tomar otro tipo de medidas, ya que, aunque en su inicio el material no produzca ruido, puede que el estado de los discos, de las suspensiones, de las rotulas, etc. haga que este aparezca. Para evitar esto, los fabricantes introducen láminas anti – ruido. Estos elementos evitan que las vibraciones se propaguen a través del portapastillas. En muchos casos éstos elementos cumplen su función, pero no son suficientes ya que la aleatoriedad del suceso hace que aún con estos elementos preventivos continúe dándose este problema en algunos casos. En otras ocasiones se intenta modificar el comportamiento de la pastilla frente a las vibraciones por medio de la variación de la superficie de contacto con el disco, es decir, lo que se realizan son canales, ranuras o chaflanes, que además de servir para la eliminación de partículas y refrigeración, consiguen que varíe el modo de vibración con lo cual puede conseguir que no surja el ruido. (Manual tecnico de freno)

2.6.4 Desgastes prematuros.

El problema del desgaste prematuro está muy relacionado con problemas de recalentamiento y alta temperatura en el sistema de freno o también por el uso de pastillas de freno de baja calidad. En la mayoría de los casos cuando se abusa excesivamente de los frenos y estos trabajan durante mucho tiempo en temperaturas superiores a 450 °C, hace que el material de fricción se adhiera al disco (en casos de pastillas de freno de baja calidad) provocándose desgaste irregular. Comienzan

a aparecer grietas en el material de fricción que con el paso del tiempo podrán ser el inicio de pérdida de masa del material. Otra de las causas que pueden provocar un desgaste prematuro de las pastillas se produce cuando durante el proceso de fabricación la distribución de la mezcla, durante el prensado, no ha sido todo lo homogénea que hubiese sido necesario. En el apartado de desgastes prematuros, y dejando al margen aquellas pastillas de freno de calidad insuficiente, la clave es el correcto funcionamiento del cáliper, pues presiones residuales (después de liberar la presión del circuito) superiores a las necesarias para mantener el contacto pastilla / disco (par residual) suponen un calentamiento progresivo del sistema con los efectos consiguientes de incremento del desgaste con la temperatura. (Manual tecnico de freno)



Figura 24-2: Desgaste del Disco de Freno.

Fuente: <http://tusfrenos.mx/discos-y-rotor-es-uso-intensivodisco-fisuradogrietas//>

2.6.5 *Pastillas cristalizadas.*

La cristalización de la superficie de las pastillas ocurre durante frenadas a altas temperaturas ($450^{\circ}\text{C} - 700^{\circ}\text{C}$), como sucede durante descensos de puertos de montañas o durante una conducción muy deportiva con altas deceleraciones. Este problema se presenta principalmente en pastillas de freno con exceso de resina y tecnología de fabricación antigua. Cuando el material de fricción se encuentra caliente en contacto con los discos, a temperaturas superiores a 350°C , los contenidos orgánicos del compuesto se queman, llegando en primer lugar al estado líquido hasta producirse la carbonización completa, generando gases y humos. Durante este proceso de transformación se puede formar en la superficie de la pastilla una película superficial muy fina y brillante, que hace disminuir el coeficiente. Esto hace que las prestaciones del material de fricción sean menores y que la carrera del pedal se haga más larga al disminuir el coeficiente de fricción como consecuencia de dicha película. Si el material de fricción está bien diseñado, una vez que se enfríen las pastillas, recuperará en unas 50 o 100 frenadas el nivel de prestaciones que tenía en un principio. Es decir, una vez que la capa cristalizada “se limpie” de la superficie de las pastillas, las prestaciones serán parecidas a las iniciales. (Manual tecnico de freno)



Figura 25-2: Pastillas de Freno Cristalizadas.

Fuente: https://www.e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=22//

2.6.6 *Calentamiento excesivo del disco de freno.*

Calentamiento excesivo del disco de freno ocasionan un endurecimiento del material, y se manifiesta con colores vivos en la gama de los azules, que se observa en la unión de la superficie y la campana del disco. La zona del disco es la cementita (Fe_3C), es provocado por una variación del material, la cementita es desfavorable para el sistema de freno, las zonas donde se forman cementita presenta un coeficiente de rozamiento diferente al resto de la superficie, además en estas zonas se acumulan tensiones térmicas, que provocan la aparición de grietas. (KASHIMA, 2016)



Figura 26-2: Calentamiento del Disco de Freno.

Fuente: <http://kashima.campuseina.com/mod/book/tool/print/index.php?id=7614>

2.7 **Líquido de freno.**

El líquido de frenos es un fluido cuya función principal es permitir que la fuerza que se ejerce desde el pedal del freno sea transmitida hasta los cilindros de las ruedas, permitiendo una frenada efectiva. Esto se realiza por medio de una bomba principal de frenos con tubos de metal y mangueras flexibles conectadas a las bombas auxiliares de frenos en cada rueda. (MORALES et al., 2002, pp. 243)



Figura 27-2: Líquido para Frenos.

Fuente: <http://www.ampolletaschile.cl/2008/01/21/liquidos-para-frenos/>

2.7.1 Características de líquido de freno.

Las características más importantes en un líquido de frenos recaen en:

- La viscosidad
- La protección del sistema de frenos
- El punto de ebullición

2.7.1.1 La viscosidad. Capacidad de fluir tanto en bajas como en altas temperaturas.

2.7.1.2 La protección del sistema de frenos. Se debe a que debe ser compatible con piezas de caucho y metálicas.

2.7.1.3 El punto de ebullición. es la temperatura a la cual éste hierve o ebulle.

2.7.2 Tipos de líquido de freno.

Una de las cosas primordiales que debemos tener en cuenta es que no todos los líquidos de frenos son iguales, por lo tanto, en cada vehículo debemos usar el recomendado por el fabricante. (MORALES et al., 2002, pp. 243)

Los tipos de líquidos que existen son los siguientes:

2.7.2.1 DOT 3

Se usa en frenos convencionales. Tiene un punto de ebullición seco de 205°C, húmedo de 140°C y su viscosidad es de 1500cSt (unidades de viscosidad). Es el más común y económico. (MORALES et al., 2002, pp. 243)

2.7.2.2 DOT 4

Es un líquido empleado tanto en frenos convencionales como en ABS. Tiene un punto de ebullición seco de 230°C, húmedo de 155°C y su viscosidad es de 1800cSt. Es similar al DOT 3 aunque ofrece mejores prestaciones y una mayor durabilidad. (MORALES et al., 2002, pp. 243)

2.7.2.3 DOT 5

Se utiliza específicamente en coches cuyo líquido de frenos tenga una base sintética en vez de mineral. Por tanto, no se puede mezclar con los DOT 3 y DOT 4 que sí tienen base mineral. Su punto de ebullición es de 260°C. (MORALES et al., 2002, pp. 243)

2.7.2.4 DOT 5.1

Es un líquido con un punto de ebullición seco de 270°C, húmedo de 180°C y tiene una viscosidad de 900cSt. Al contrario de lo que se pueda pensar, no es una evolución del DOT 5, de hecho, tiene base mineral. Su principal ventaja es que tiene mayor poder higroscópico que los DOT 3 y DOT 4, es decir, tiene más capacidad para absorber humedad. (MORALES et al., 2002, pp. 243)

2.8 Controlador de temperatura al disco de freno

Es un dispositivo empleado para recolectar información de temperatura obtenida del ambiente a medir, obteniéndose datos de temperatura exacta y en tiempo real de acuerdo a la programación previa del software indicado. (Risoul., 2017)

2.8.1 Equipos de monitoreo de temperatura.

Entre los equipos más factibles para el monitoreo de temperatura de los discos de freno se tiene:

- Raytek
- Omega
- NI 6008

- Arduino

2.8.1.1 Raytek.

Es un monitor infrarrojo sin contacto que provee medición de temperatura de componentes energizados activamente o de maquinaria operativa. La temperatura se presenta en su propio módulo de control LCD y/o remotamente a través del software basado en PC DataTemp® Multidrop de Raytek. (Risoul., 2017)



Figura 28-2: Raytek.

Fuente: <http://www.ampolletaschile.cl/2008/01/21/1-liquidos-para-frenos/>

Estar consciente de estos cambios de temperatura significa que se pueden realizar diagnósticos del sistema y planear servicios sin necesidad de interrumpir la producción, lo cual permite ahorrar dinero en tiempo y recursos ya que una elevación de temperatura o un pico en la superficie de un equipo puede ser una indicación temprana de un serio problema en el equipo. (Risoul., 2017)

2.8.1.2 Omega.

Instrumento usado para el control de la temperatura. El controlador de temperatura toma una entrada de un sensor de temperatura y tiene una salida que está conectada a un elemento de regulación como calentador o ventilador. (OMEGA, 2003)

Para regular con precisión la temperatura de proceso sin una intensa participación del operador, un sistema controlador de temperatura confía en un controlador, que acepta como entrada un sensor de temperatura como un termopar o RTD. (OMEGA, 2003)



Figura 29-2: Omega.

Fuente: <http://www.ampolletaschile.cl/2008/01/21/liquidos-para-frenos/>

Compara la temperatura real con la temperatura de control deseada, o punto de ajuste, y proporciona una salida a un elemento de control. El controlador es una parte de todo el sistema de control, y se deberá analizar todo el sistema para seleccionar el controlador adecuado. (OMEGA, 2003)

2.8.1.3 NI 6008.

Es un dispositivo DAQ multifunción Ofrece E/S analógicas, E/S digitales y un contador de 32 bits. El USB-6008 brinda funcionalidad básica para aplicaciones como registro de datos simple, medidas portátiles y experimentos académicos de laboratorio. El dispositivo tiene una cubierta mecánica ligera y es energizado por bus para fácil portabilidad. Puede conectar fácilmente sensores y señales al USB-6008 con conectividad de terminal de tornillo. El controlador NI-DAQmx y la utilidad de configuración incluidos simplifican la configuración y las medidas. (NATIONAL INSTRUMENTS, 2013)



Figura 30-2: NI6008.

Fuente: <https://www.ni.com/es-cr/support/model.usb-6008.html>

2.8.1.4 Arduino.

Es un escenario de desarrollo basada en una placa y elementos electrónicos de hardware libre que incorpora un microcontrolador re-programable y una serie de pines hembra, los que permiten construir conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una forma muy sencilla (principalmente con cables DuPont). (MCI ELECTRONICS, 2005)

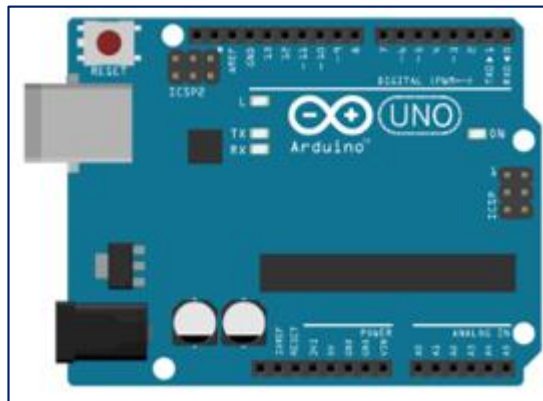


Figura 31-2: Arduino.

Fuente: <http://arduino.cl/que-es-arduino/>

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 Material de los discos de freno.

Superficie contra la cual interactúan las pastillas para frenar el vehículo, debido a que el disco gira solidario con las ruedas. Ese rozamiento entre discos y pastillas produce la transformación de energía cinética en energía calorífica, provocando una reducción de la velocidad. (blogspot.com, 2010)

Los discos de freno no solo deben producir la transformación de energía sino que además deben de conseguir que el calor producido sea transmitido a la atmósfera lo más rápidamente posible, ya que si no, las temperaturas a las que operaría el sistema serían muy elevadas llegando incluso al colapso del sistema. (blogspot.com, 2010)



Figura 1-3: Disco de Freno.

Fuente: <http://www.ampolletaschile.cl/2008/01/21/liquidos-para-frenos/>

El material escogido para fabricar los discos de freno es la fundición gris nodular de grafito laminar, ya que garantiza una estabilidad de las prestaciones durante el periodo de vida de los discos. Existen también, discos de materiales compuestos en matriz de carbono, usados en la alta competición. En la actualidad se están desarrollando discos de freno en aluminio con una base de carburo de silicio, ya que sus menores pesos los hacen muy atractivos, pero la mala disipación de calor que tienen los hacen inviables de momento, ya que necesitan un sobredimensionamiento importante que hacen que pierdan las ventajas del reducido peso. (blogspot.com, 2010)

La composición básica de la fundición de los discos es en un 92 a 93 % hierro, además contiene carbono, silicio, manganeso y otros materiales en menor medida que confieren las propiedades específicas del elemento. La adición de carbono redonda en las siguientes mejoras: (blogspot.com, 2010)

- Optima conductividad térmica
- Minimiza la posibilidad de vibraciones
- Reducción de ruidos debido a un mayor coeficiente de amortiguación
- Mayor resistencia a la deformación
- Mayor resistencia a la aparición de micro-fisuras por recalentamiento
- Mayor seguridad de frenado y mejor desempeño de todo el sistema de freno

3.2 Geometría de los discos de freno.

Es una superficie circular mecanizada perfectamente plana. Está compuesto de las siguientes partes: (TUSFRENOS.MX, 2017)

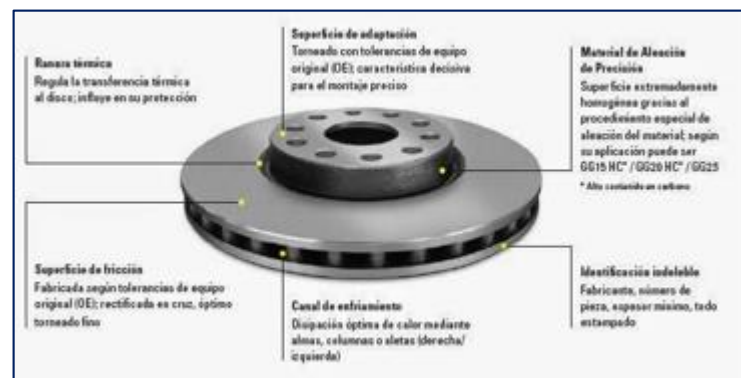


Figura 2-3: Geometría de los Discos de Freno.

Fuente: <https://tusfrenos.mx/la-geometria-del-disco-de-freno/>

3.2.1 Pista.

Es la superficie en la cual tiene lugar la acción de fricción entre las pastillas y el disco. Está dimensionada de forma que su potencia de disipación se acerque al valor de 250 W/cm², pero dicho valor puede variar dependiendo de la geometría del disco, hasta un valor de 750 W/cm². Por encima de dichos valores, pueden aparecer daños en el disco, tales como deformaciones geométricas, grietas, depósitos de material de fricción u otros que dañarían el disco de forma irreversible. (TUSFRENOS.MX, 2017)

3.2.2 Fijación.

La fijación de los discos está situada en la parte central del mismo. Existe un taladro donde se aloja el buje, así como por la parte posterior un chaflán que debe de apoyarse perfectamente en la mangueta para que el ajuste del disco sea perfecto. Alrededor del taladro donde se aloja el buje, la fijación tiene un cierto número de taladro que permite el paso de los pernos de anclaje de la

rueda. En la mayoría de los discos la fijación del disco se garantiza por unos taladros de menor diámetro que fijan el disco. (TUSFRENOS.MX, 2017)

3.2.3 Campana.

Es el cilindro que une la banda, con el plano de fijación. En algunos casos en el interior de la campana se está aprovechando para montar un pequeño sistema de freno de tambor de accionamiento mecánico, con la finalidad de que sirva de freno de estacionamiento. (TUSFRENOS.MX, 2017)

3.2.4 Filtro térmico.

Es un canal mecanizado, que separa la pista de la fijación, para reducir el calor que pasa de la pista hacia la campana. Con este tipo de canales se evita el calentamiento excesivo de la llanta y por consiguiente del neumático que ya sufre los efectos de la temperatura por su propio uso. (TUSFRENOS.MX, 2017)

3.3 Principales discos de freno estudiados.

Los discos que en la actualidad existe en el mercado son muy variados aunque por excelencia en los modelos convencionales actuales se montan disco ventilado delante y disco macizo para los frenos posteriores, a continuación se mencionan los discos más comunes. (AUTONOCION.COM, 2018)

3.3.1 Discos de freno perforados.

Cuando utilizamos de manera intensa los frenos, la pastilla libera gases y partículas, formando una película sobre el disco que impide que la pastilla toque el disco de freno con la misma eficacia, es lo que se conoce como fundido de freno. El diseño de los discos de freno perforados responde a su capacidad para liberar los gases y, al mismo tiempo, reducir el peso de la pieza, pero ojo, porque el rotor se ve comprometido. (AUTONOCION.COM, 2018)



Figura 3-4: Discos de Freno Perforados.

Fuente: <http://www.ampolletaschile.cl/2008/01/21/liquidos-para-frenos/>

Hemos explicado que un disco de freno es mejor si actúa como un gran disipador de calor, por lo que meter cierta carga de agujeros en el mismo se traduce en una menor capacidad para disipar el calor. Además, estos agujeros pueden convertirse en puntos de tensión, lo que puede conducir a un agrietamiento durante una frenada fuerte. (AUTONOCION.COM, 2018)

Para solucionarlo, suelen fabricarse en hierro fundido con un alto contenido de carbono, que mejora las características de resistencia termomecánica. En cualquier caso, también hemos de tener en cuenta que las pastillas de freno modernas no sueltan tantos gases y partículas como sus predecesoras, por lo que la necesidad de perforación en los discos de freno se ha reducido. (AUTONOCION.COM, 2018)

Teniendo en cuenta que en un uso habitual del vehículo es poco probable encontrarse con los inconvenientes comentados, los discos de freno perforados son muy habituales en los coches de alto rendimiento modernos, donde el diseño juega un papel realmente importante. Adicionalmente, impiden que se forme una película de agua en caso de conducción sobre superficies mojadas. (AUTONOCION.COM, 2018)

3.3.2 Discos de freno rayados.

El diseño de los discos de frenos ranurados responde esencialmente a las mismas necesidades que el caso anterior, aunque hay matices. Las ranuras de la superficie del disco permiten que los gases escapen, junto con el beneficio adicional de que la acción de “raspado” que estas producen también limpia las pastillas. Las ranuras mejoran el agarre de la pastilla y aumentan la fricción, pero ojo, porque lo hacen a costa del desgaste de estas. (AUTONOCION.COM, 2018)



Figura 4-3: Discos de Freno Rayados.

Fuente: <http://www.ampolletaschile.cl/2008/01/21/liquididos-para-frenos/>

Al igual que los discos de freno perforados, lucen un atractivo superior, contando con múltiples diseños. Uno de los más llamativos y prácticos son los de la imagen, con forma de gancho, pues además de gozar de las mismas propiedades que el resto, permiten reducir las vibraciones. (AUTONOCION.COM, 2018)

- Los discos perforados ofrecen un agarre inicial de frenado mejor que los discos ranurados.
- Los discos perforados se desempeñan mejor con lluvia, debido al volumen de los agujeros frente a las ranuras.
- Los discos perforados son más propensos a agrietarse que los ranurados.
- La disipación de los gases es igual en ambos.
- Los discos perforados incrementan un poco el rendimiento en general debido a su menor peso.
- Los discos perforados tienen una mayor ventilación por lo que deben enfriarse más rápido, pero como tienen menos material son propensos a calentarse mucho más rápido que los ranurados. Los ranurados, por su efecto, generan más temperatura.
- Los discos perforados tienen una superficie de fricción del 85% al 93%. Los ranurados, un 96%.

3.3.3 Discos de freno perforados y rayados.

Podemos encontrar en el mercado una combinación de ambos diseños, es decir, discos de freno perforados y ranurados. En ellos, la superficie del disco sólo se perfora parcialmente, lo que deja intacta la integridad estructural de los discos y, al mismo tiempo, proporciona una escapatoria para los gases y la suciedad producida por las pastillas. (AUTONOCION.COM, 2018)

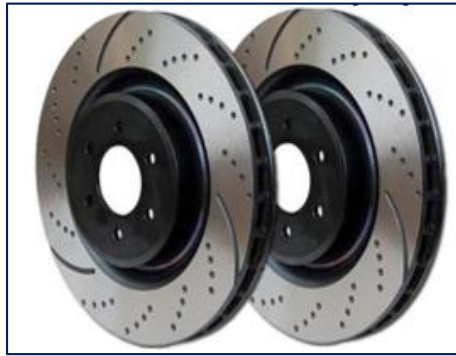


Figura 5-3: Discos de Freno Perforados y Rayados.

Fuente: <http://www.ampolletaschile.cl/2008/01/21/liquidos-para-frenos/>

Estos discos de freno son la opción más liviana de entre las tres últimas y cuentan con una superficie de fricción de entre el 80 por ciento y el 91 por ciento.

3.3.4 Análisis térmico en los discos de freno.

La potencia disipada en el sistema de frenos que proviene de la energía cinética y potencial del vehículo, se transforma en energía calorífica, que va a ser generada en cortos intervalos de tiempo. Para que el sistema de frenos funcione correctamente, el calor generado debe ser evacuado con mayor rapidez posible, para que las sucesivas frenadas no produzcan una elevada temperatura y así perder la seguridad del sistema, el propio avance del vehículo permite la disipación del calor generado esencialmente por convección y radiación. Cuando se producen frenadas excesivas, la temperatura se eleva hasta llegar a un límite (temperatura de saturación), en función de la capacidad de disipación térmica del disco de freno. (bdigital., 2017)

En caso de llegar a la temperatura de saturación, se disminuirá el coeficiente de fricción entre los elementos del freno y aparecerá el fenómeno que se estudiará en otras investigaciones llamado Fading. Las propiedades físicas y térmicas de la fundición gris nodular de grafito laminar el cual tiene una composición de silicio y manganeso, fueron obtenidas de la Tabla A-3 del libro de transferencia de calor de Yunus A. Cengel. (bdigital., 2017)

3.3.5 *Análisis de fricción y eficiencia de frenado.*

La potencia disipada en el sistema de frenos que proviene de la energía cinética y potencial del vehículo, se transforma en energía calorífica, que va a ser generada en cortos intervalos de tiempo. Para que el sistema de frenos funcione correctamente, el calor generado debe ser evacuado con mayor rapidez posible, para que las sucesivas frenadas no produzcan una elevada temperatura y así perder la seguridad del sistema, el propio avance del vehículo permite la disipación del calor generado esencialmente por convección y radiación. Cuando se producen frenadas excesivas, la temperatura se eleva hasta llegar a un límite (temperatura de saturación), en función de la capacidad de disipación térmica del disco de freno. (F. MEZQUITA, 2001, p. 12.7)

CAPÍTULO IV

4. REDISEÑO DEL DISCO DE FRENO NORMAL A VENTILADO, SELECCIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA DE LOS DISCOS DE FRENO E IMPLEMENTACIÓN EN DMAX 4X4.

4.1 Rediseño del disco de freno normal a ventilado.

Para el desarrollo del rediseño del disco de freno ventilado se utilizó el software de diseño Solidworks, y partimos de un disco de freno normal de un vehículo Chevrolet D-max 4x4.

Cautelosamente se optó por el diseño más conveniente para nuestro proyecto, cabe mencionar que al diseño de partida se le realizó ajustes previos para facilitar el posterior mecanizado.

4.1.1 Construcción de plano inicial.

Una vez que se visualizó la forma más idónea para diseñar el disco de frenos se procedió a trasladar los detalles al software, inicialmente realizando el boceto indicado en la figura 3-8, sobre el cual se plasmó cada trazo. Las dimensiones principales están limitadas al disco sobre el cual se realizará el mecanizado.

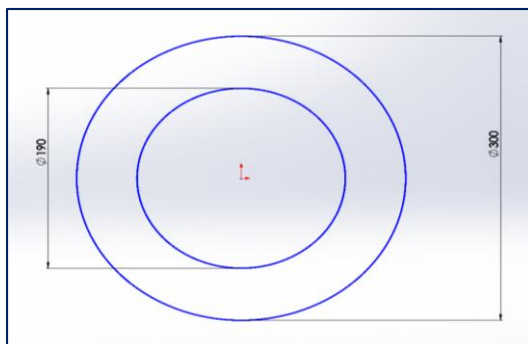


Figura 1-4: Construcción de Plano Inicial.

Realizado por: Autores

4.1.2 Delineamiento de ejes geométricos principales.

Sobre el plano inicial se moldeó los ejes principales sobre los cuales irán orificios y ranuras, partes claves para el desarrollo del proyecto, estos ejes mostrados en la figura 3-9 fueron trazados

tomando en cuenta la geometría y forma del disco de frenos sobre el que se trabajará posteriormente.

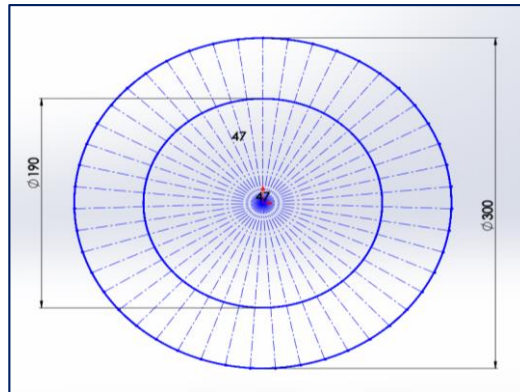


Figura 2-4: Delineamiento de Ejes Geométricos Principales.

Realizado por: Autores

4.1.3 Trazo de orificios y ranuras.

Las dimensiones de orificios, ranuras, profundidades y distancias detalladas en la figura 3-10 fueron elegidas a criterio de los autores, las cuales irán centradas sobre los ejes ya descritos anteriormente.

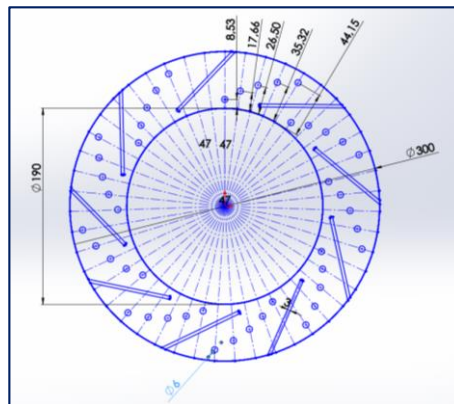


Figura 3-4: Trazo de Orificios Y Ranuras.

Realizado por: Autores

4.1.4 Modelado del disco de freno rediseñado.

Tomando las dimensiones y detalles del disco de frenos se realizó un modelado inicial detallado en la figura 3-11 con objetivo de visualizar las formas y geometrías del mismo en el software.

Trasladamos el plano inicial descritos en los pasos anteriores hacia el disco modelado, para visualizar la forma final que tendrá el disco rediseñado, en las figuras 3-12 y 3-13 se describen las vistas del disco rediseñado.

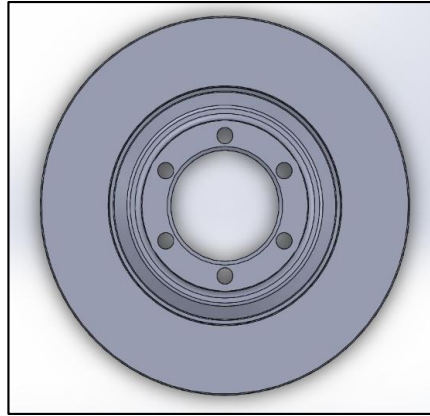


Figura 4-4: Modelado del Disco de Freno Normal.

Realizado por: Autores

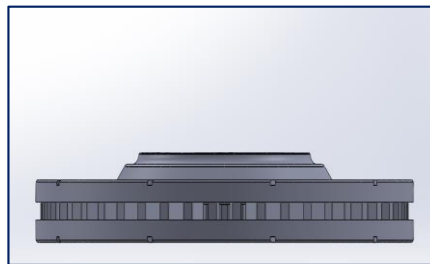


Figura 5-4: Modelado del Disco de Freno Rediseñado.

Realizado por: Autores

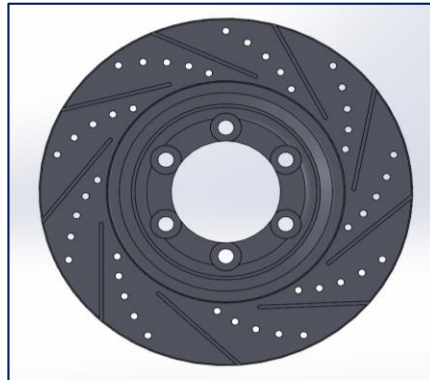


Figura 6-4: Modelado de disco Ventilado.

Realizado por: Autores

4.2 Mecanizado del disco de freno ventilado.

En esta parte se realizó las modificaciones al disco normal de frenos previamente diseñadas en el software, todos los datos geométricos fueron enviados hacia la máquina herramienta CNC, en este caso la fresadora, con la cual se pudo conseguir mayor precisión facilitando el trabajo.

4.2.1 *Exportación de planos y datos geométricos a Mastercam.*

Todos los planos que se realizaron previamente en Solidworks se tuvieron que exportar al software con el cual trabaja la fresadora CNC, es decir el software Mastercam, un software bastante práctico y además compatible con Solidworks.

4.2.2 *Fijación y centrado del disco de freno.*

Montamos y fijamos firmemente el disco de frenos sobre la mesa de la fresadora, fijando las coordenadas sobre las cuales se trabajará tal y como se muestra en la figura 7-4.



Figura 7-4: Fijación y Centrado del Disco de Freno.

Realizado por: Autores

4.2.3 *Perforación de agujeros de ventilación del disco de frenos.*

Con las coordenadas de trabajo ya fijas procedimos a perforar los orificios que ventilarán el disco de frenos, siendo estos agujeros totalmente pasantes al disco y con diámetro de 6 mm. En las figuras 8-4 y 9-4 se muestra la perforación y la ejecución del software respectivamente.

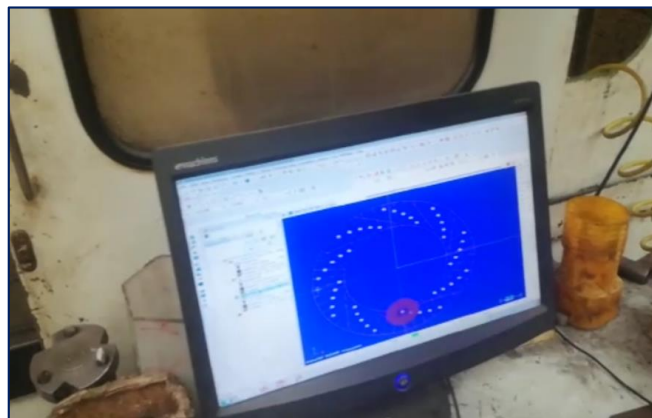


Figura 4 8: Asignación de puntos a perforar en el disco.

Realizado por: Autores



Figura 9-4: Perforación al Disco de Freno.

Realizado por: Autores

4.2.4 *Desbaste de ranuras de ventilación.*

Luego de la perforación se ejecutó el software para desbastar las ranuras que se emplea para ventilación y evacuación de virutas en el disco. La profundidad y el ancho de las ranuras se determinaron a discreción de los autores, cuidando de no comprometer los espesores del disco, se optó por una profundidad de 2.5 mm y un ancho de 3 mm. En las figuras 11-4 se muestra el mecanizado de las ranuras sobre el disco, así como también en la figura 10-4 la ejecución del programa Mastercam.

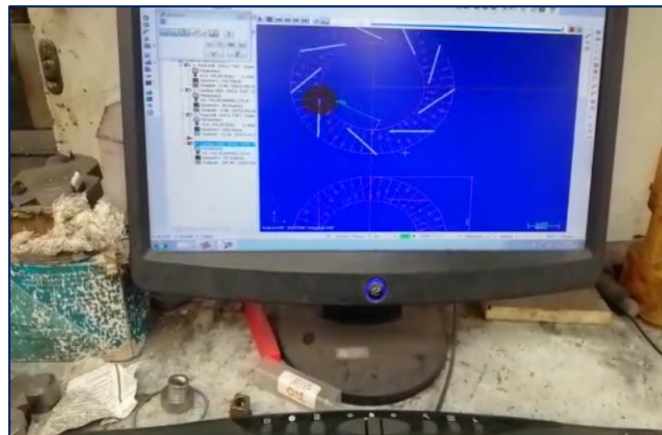


Figura 10-4: Asignación de Ranuras en Mastercam.

Realizado por: Autores



Figura 11-4: Desbaste de Ranuras de Ventilación.

Realizado por: Autores

4.2.5 *Acabado final.*

Una vez rediseñado el disco se realizó un acabado final que consistió en pulido de las partes mecanizadas como se muestra en la figura 12-4, se lijó las rebabas y escorias productos del desbaste. En la figura 13-4 se puede visualizar el resultado final del disco ya rediseñado.



Figura 12-4: Acabado Final.

Realizado por: Autores

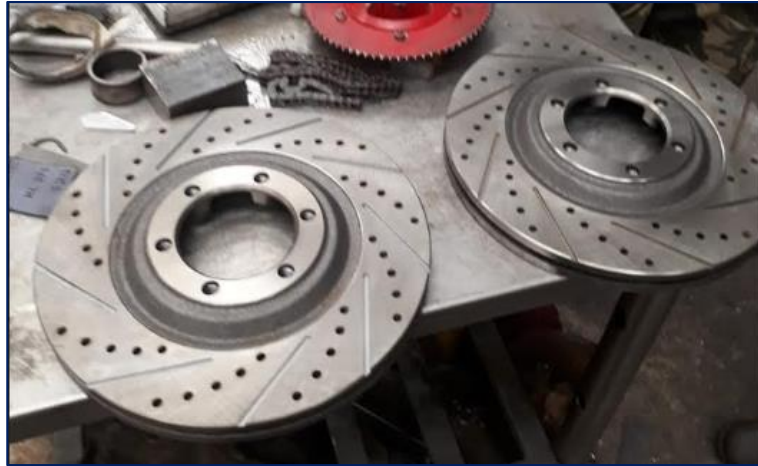


Figura 13-4: Discos Ventilados.

Realizado por: Autores

4.3 Asignación de parámetros del sistema de monitoreo de temperatura de los discos de freno.

4.3.1 Selección de hardware y sensores para el sistema de monitoreo de temperatura.

Como punto de partida, se consideró que el objetivo general y el alcance de nuestra incorporación tecnológica sean de mayor eficiencia, la cantidad de hardware disponible en el mercado actual es considerable, por lo que se puede obtener un nivel de flexibilidad muy importante a la hora de buscar una configuración adecuada.

El escoger recursos tecnológicos ya sea hardware o software resulta un aspecto importante cuando pretendemos automatizar, la selección del prototipo de monitoreo de temperatura se realizó en base a la utilización de todos los recursos posibles que se encuentren en nuestro medio. Para la correcta elección del hardware se tomó en consideraciones las características y la eficiencia de la tarjeta.

Seleccionando a la tarjeta Arduino como procesador de monitoreo de temperatura y sensores (MLX90614) para la adquisición de datos de temperatura de los discos de freno.

4.3.2 Hardware seleccionado (ARDUINO).

Arduino es una tarjeta electrónica que integra básicamente a un microcontrolador y un conjunto de pines de conexión de entradas y salidas que permiten, mediante un determinado programa, interactuar con el medio físico mediante sensores y actuadores electrónicos. De esta forma se puede crear proyectos tecnológicos, dotarlos de sensores que detecten magnitudes físicas como

luz, calor, fuerza, etc. y en base a esa información, escribiendo un programa, activar otros dispositivos (actuadores) como pequeñas bombillas, ledes, servomotores, pequeños motores DC, relés, etc. Los sensores se conectan a los pines de entrada y los actuadores a los de salida. (MANUALRAPIDO, 2010)



Figura 14-4: Tarjeta Arduino.

Fuente: <http://www.practicasconarduino.com/>

4.3.3 Sensor seleccionado (MLX90614).

El Sensor de Temperatura infrarrojo MLX90614 es un chip de silicio con una fina membrana micromecanizada, diseñada para ser sensible a la radiación infrarroja emitida por un objeto a distancia. El sensor posee una etapa de amplificación y digitalización de la señal procedente de la membrana. La salida del sensor es lineal y se compensa de acuerdo a las variaciones de la temperatura ambiente.

El sensor MLX90614 integra un circuito de filtrado de ruido, un conversor A/D de 17 bits de resolución y un procesador digital de señales, entregando un amplio rango de trabajo para objetos desde -70°C hasta 380°C, con una precisión de 0.5°C. (MECHATRONICS, 2018)



Figura 15-4: Sensor de Temperatura por Infrarrojo.

Fuente: <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura>.

4.3.4 Software a utilizar *LabVIEW*.

El software LabVIEW es un medio gráfico de programación. El código utilizado para programar en este se llama "Lenguaje G, donde la "G" simboliza que es un lenguaje de tipo gráfico. Los

programas desarrollados en LabVIEW se llaman VI's (Virtual Instruments), su origen provenía del control de instrumentos, pero hoy en día su uso se ha expandido más allá. (ESTUELECTRONIC, 2012)

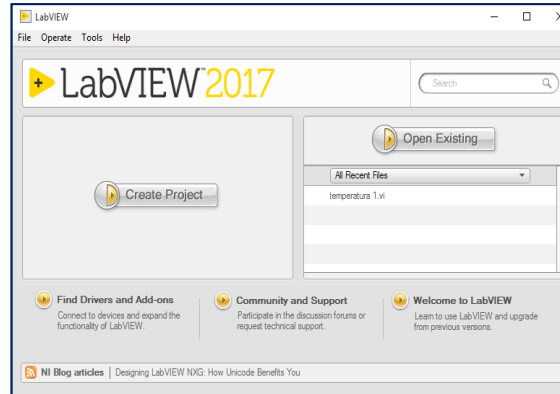


Figura 16-4: Software LabVIEW.

Realizado por: Autores

LabVIEW tiene un entorno de programación gráfico, por lo que los programas no se escriben, sino que se dibujan, una labor facilitada gracias a que LabVIEW consta de una gran cantidad de bloques prediseñados.

Los programas se dividen en dos partes bien diferenciadas, una llamada “Panel Frontal”, y otra “Diagrama de Bloques”. (ESTUELECTRONIC, 2012)

4.3.4.1 Panel Frontal.

Es la interfaz con el usuario, la utilizamos para interactuar con el usuario cuando el programa se está ejecutando. En esta interfaz se definen los *controles* (los usamos como entradas, pueden ser botones, marcadores etc.) e *indicadores* (los usamos como salidas, pueden ser gráficas, etc.). (ESTUELECTRONIC, 2012)

4.3.4.2 Diagrama de Bloques.

Es el programa propiamente dicho, donde se define su funcionalidad, aquí se colocan íconos que realizan una determinada función y se interconectan (el código que controla el programa). Suele haber una tercera parte *icono/conector* que son los medios utilizados para conectar un VI con otros VIs. (ESTUELECTRONIC, 2012)

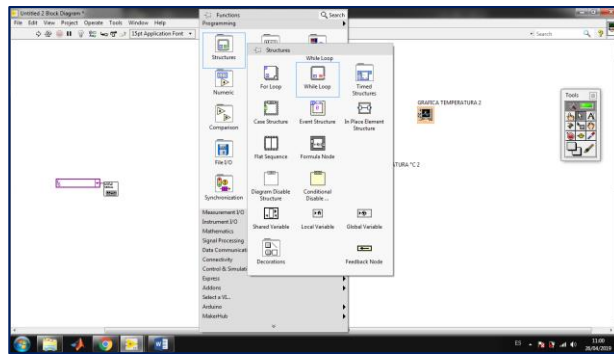


Figura 17-4: Software LabVIEW.

Realizado por: Autores

4.3.5 *Arduino + LabVIEW*

Lo primero y más importante, debemos tener un Arduino y LabVIEW instalado en el PC que vayamos a utilizar.

Cumpliendo el primer paso, podemos continuar con el resto de pasos que son necesarios para poder utilizar LabVIEW y Arduino juntos. Lo siguiente que haremos, será ir a la página de National Instruments y descargarnos el toolkit necesario, se llama “NI LabVIEW Interface for Arduino Toolkit” una vez descargado, lo instalamos en nuestro pc. (ESTUELECTRONIC, 2012)

Después de tener el toolkit instalado, para poder conectar Arduino con LabVIEW debemos cargar un Firmware en Arduino, este está dentro de una carpeta en el directorio donde se han instalado los pertinentes componentes del toolkit, El Firmware se carga en nuestro Arduino como si fuese un programa cualquiera. (ESTUELECTRONIC, 2012)

Queda un último paso, en nuestro administrador de dispositivos, debemos ajustar la velocidad del puerto serie de nuestro Arduino, ya que por defecto en nuestro sistema trabaja a 9600 baudios, y en LabVIEW por defecto trabaja a 115200, cambiaremos entonces los 9600 que muestra el puerto serie en el administrador de tareas por los 115200 que muestra LabVIEW para un correcto funcionamiento, de paso sabremos qué puerto utiliza Arduino para después usar esta información en LabVIEW. (ESTUELECTRONIC, 2012)

Una vez realizados estos sencillos pasos nuestro Arduino ya está listo para interactuar con LabVIEW. (ESTUELECTRONIC, 2012)

4.3.6 *Estructuración del analizador de datos de temperatura.*

El sistema monitoreo de temperatura de los discos de freno está compuesta por sensores de temperatura, placa electrónica Arduino, cable serial de comunicaciones y un pc.

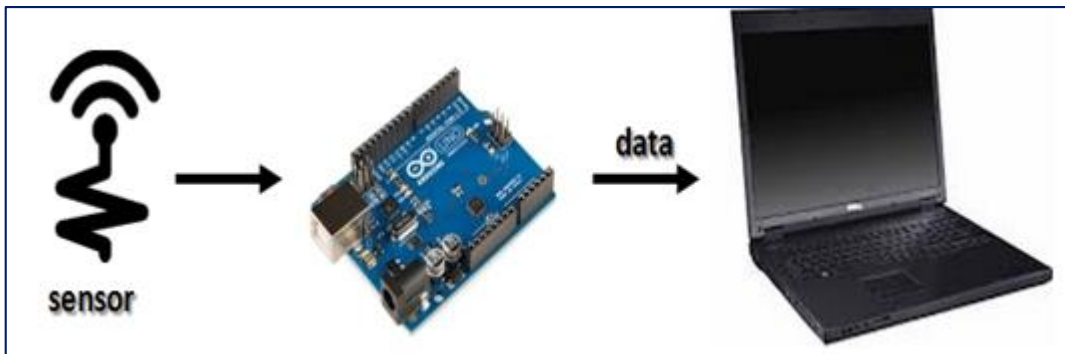


Figura 18-4: Estructura de Analizador de Temperatura para los Discos de Freno.

Realizado por: Autores

4.3.6.1 Sensor de temperatura.

Tal y como su nombre lo indica, son encargados de sensar o medir las condiciones de temperatura de los discos de freno. Esos datos son enviados a la tarjeta Arduino para luego ser procesado

4.3.6.2 Arduino.

Placa electrónica que tiene todos los componentes electrónicos necesarios para conectar periféricos a las entradas y salidas de un microcontrolador. Es decir, es una placa impresa con los componentes necesarios para que funcione el microcontrolador y su comunicación con un ordenador a través de la comunicación serial.

4.3.6.3 Cable serial de datos.

Es un cable que se utiliza para transferir información entre dos dispositivos que utilizan un protocolo de comunicación serie.

4.3.6.4 Laptop.

Es un dispositivo electrónico utilizado para el procesamiento de datos. La misma posee dispositivos de entrada y salida que permiten a los usuarios interactuar con esta información.

4.3.7 Programación del analizador de datos.

Para la programación y asignación de parámetros se utilizó el software seleccionado (LabVIEW 2017).

4.3.7.1 Pasos de asignación de parámetros en LabVIEW.

- Paso inicial es abrir el programa y seleccionar: crear nuevo proyecto.

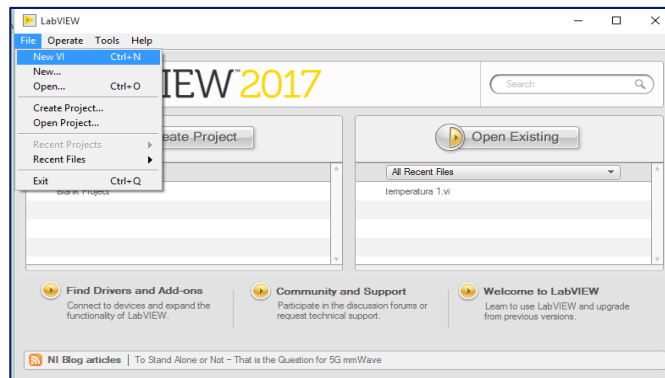


Figura 19-4: Asignación de Parámetros.

Realizado por: Autores

- Al crear un nuevo proyecto nos aparece una nueva venta, en la cual se realizará los diagramas de bloques y asignación de los parámetros.

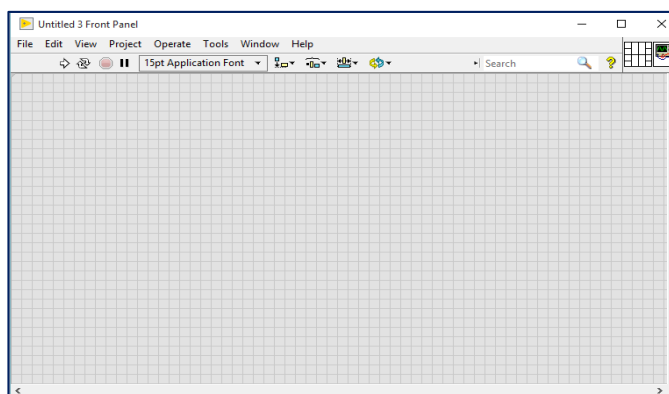


Figura 20-4: Asignación de Parámetros.

Realizado por: Autores

- Siguiente paso es hacer clic derecho y seleccionar la opción decorations.

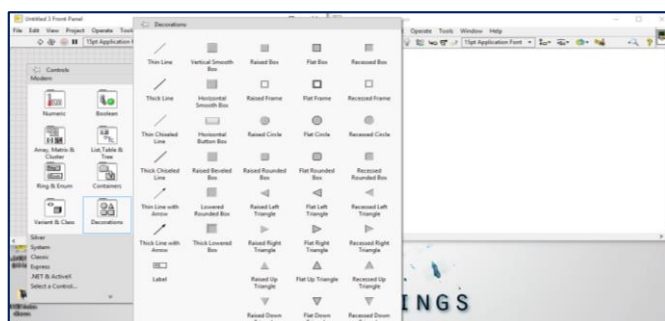


Figura 21-4: Asignación de Parámetros.

Realizado por: Autores

- Posteriormente se selecciona la opción vertical smooth box

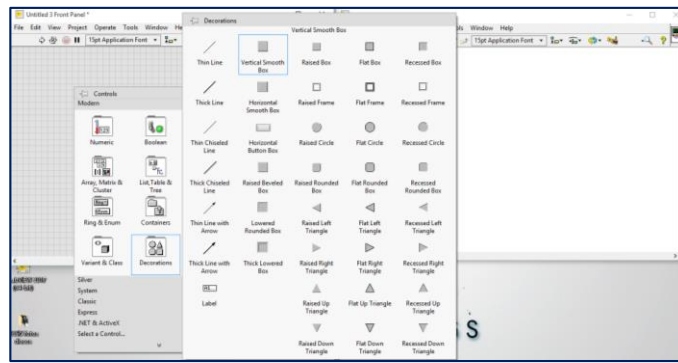


Figura 22-4: Asignación de Parámetros.

Realizado por: Autores

- Al seleccionar la opción vertical smooth box, nos permite insertar paneles de estructuración, para nuestro caso se insertó dos paneles.

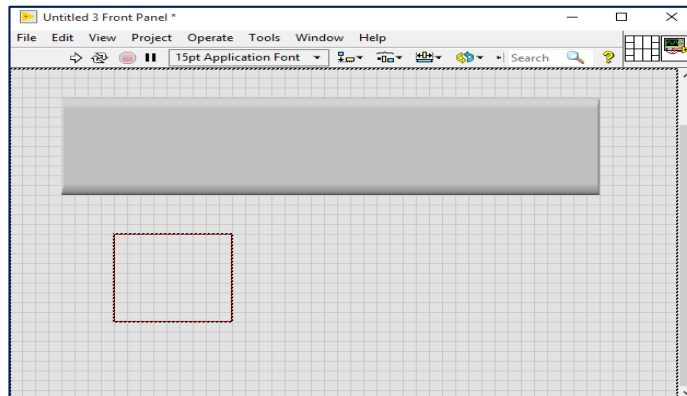


Figura 23-4: Asignación de Parámetros.

Realizado por: Autores

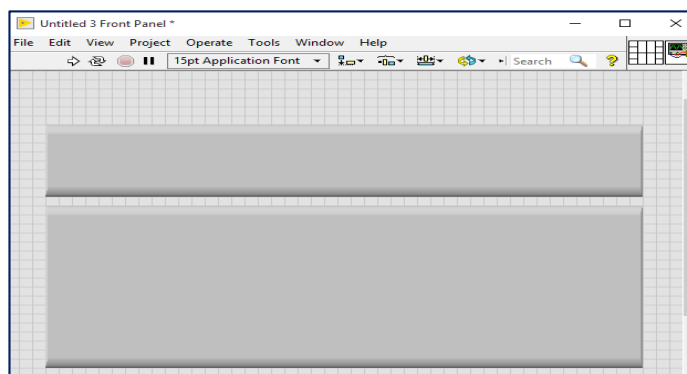


Figura 24-4: Asignación de Parámetros.

Realizado por: Autores

- Luego de haber insertado los paneles de estructuración se procedió a insertar el indicador pantalla gráfica, para ello se realiza clic derecho y seleccionamos la opción graph y hacemos clic en waveform chart.

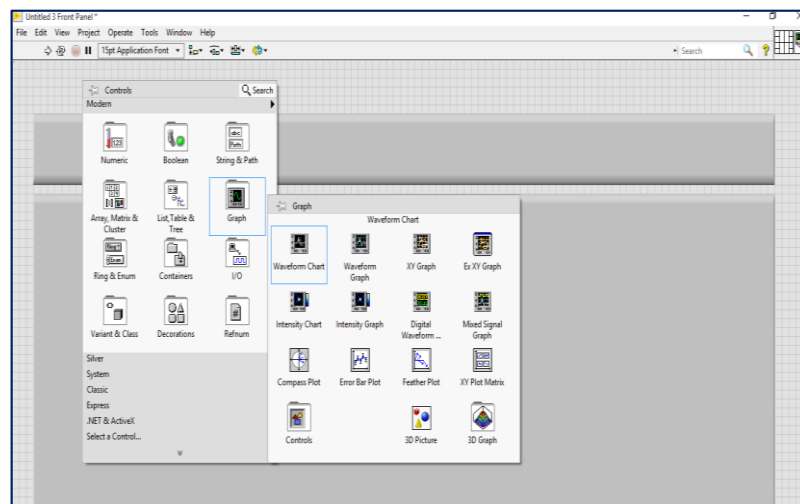


Figura 25-4: Asignación de Parámetros.

Realizado por: Autores

- Posterior a ello se selecciona la opción waveform chart, para nuestro proyecto fue necesario insertar dos indicadores de gráfica.

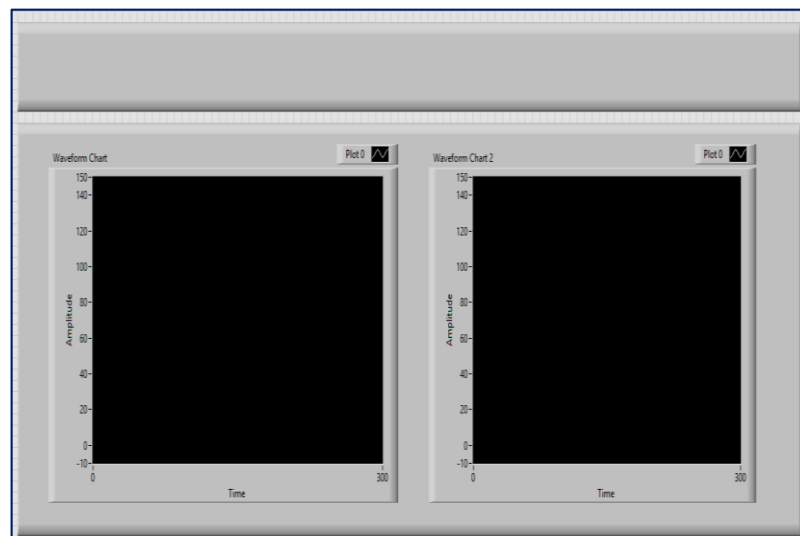


Figura 26-4: Asignación de Parámetros.

Realizado por: Autores

- Las pantallas gráficas fueron modificadas y renombradas de acuerdo al requerimiento del proyecto sistema de monitoreo de temperatura, teniendo como resultado lo siguiente.



Figura 27-4: Pantalla Gráfica de Temperatura.

Realizado por: Autores

4.3.8 *Parametrización del sistema de monitoreo de temperatura.*

- Para la asignación de parámetros y bloques se realiza en la ventana Untitled 4 block diagram, los bloques de gráfica y numérico se insertan automáticamente al realizar la asignación de indicadores gráficos y numéricas en untitled front panel.

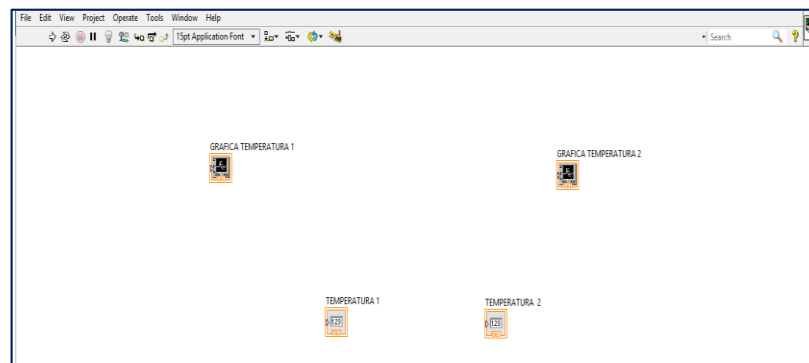


Figura 28-4: Asignación de Bloques.

Realizado por: Autores

- El paso siguiente es hacer clic derecho en cualquier punto blanco de la venta, y seleccionamos la opción de instrument I/O y llevamos el cursor al icono serial y posterior a ello seleccionamos configure port.

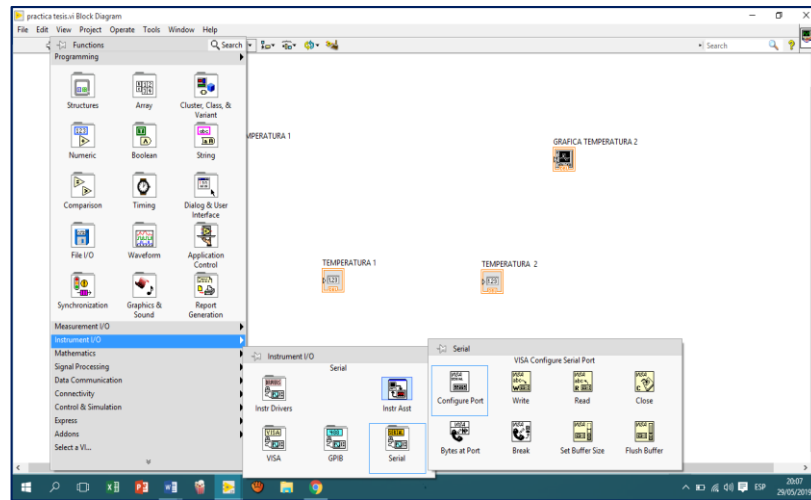


Figura 29-4: Asignación de Bloques.

Realizado por: Autores

- Al hacer clic en configure port nos aparece un serial de configuración puerto, sobre el cual hacemos clic derecho y llevamos el cursor al ícono create y posterior seleccionamos constant.

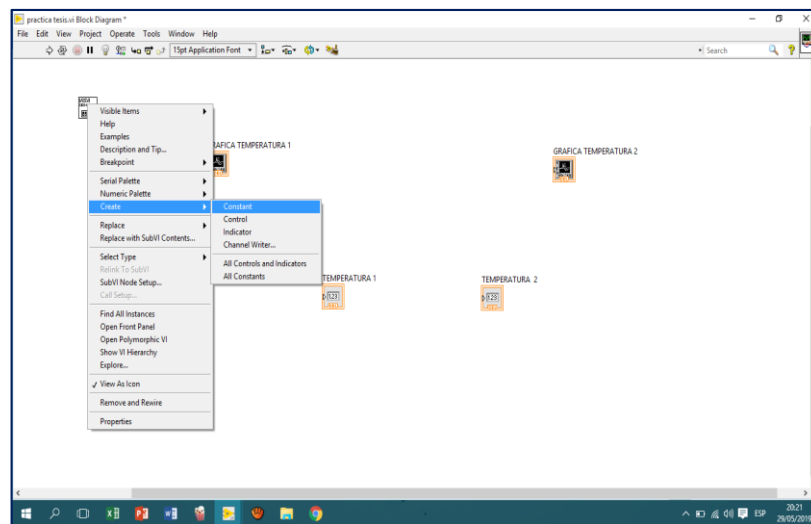


Figura 30-4: Asignación de Bloques.

Realizado por: Autores

- Posterior a ello toca remarcar los indicadores gráficas y numéricas, para esto hacemos clic derecho en cualquier punto de espacio blanco y llevamos el cursor al ícono structure y seleccionamos la opción while loop.

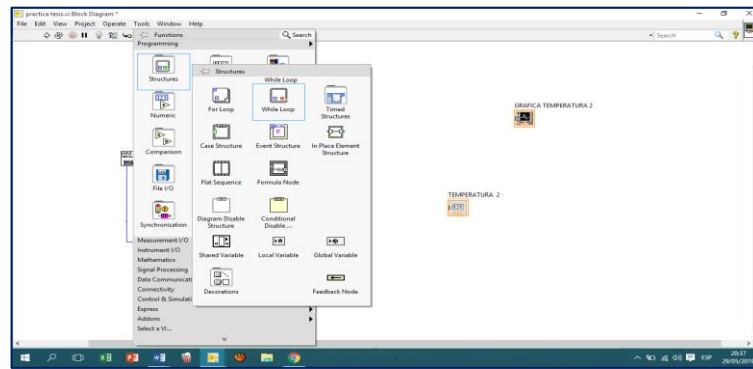


Figura 31-4: Asignación de Bloques.

Realizado por: Autores

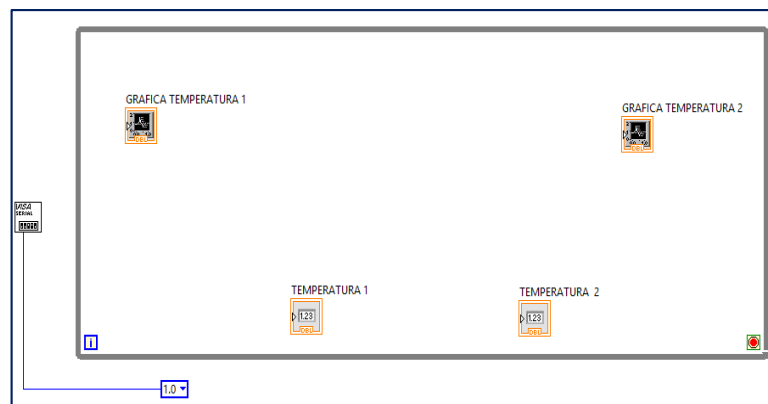


Figura 32-4: Asignación de Bloques.

Realizado por: Autores

- Posterior a ello se inserta serial de lectura (visa) para insertar dicho ícono nuevamente hacemos clic derecho en cualquier punto, llevamos el cursor a instrument I/O, seral y seleccionamos la opción read.

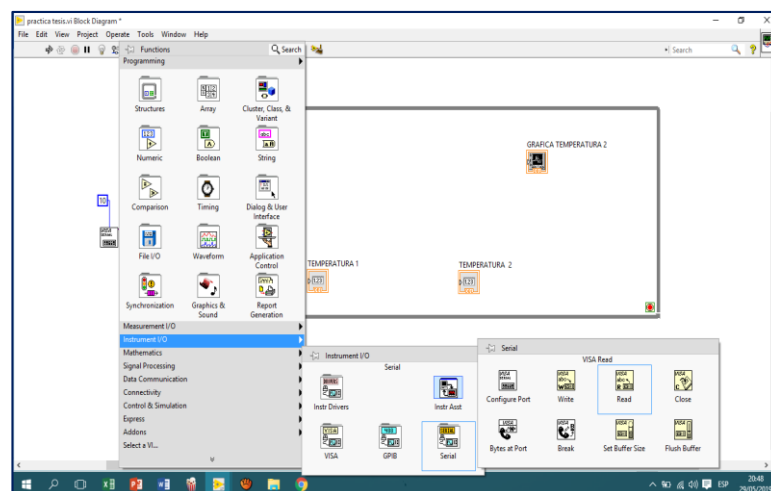


Figura 33-4: Asignación de Bloques.

Realizado por: Autores

- Al seleccionar la opción read nos parece el ícono (visa read abc) este ícono nos permite realizar la intercomunicación entre visa serial, visa abc, visa c y index array asignando los puertos de comunicación, para insertar las opciones visa c y index se realiza los mismos pasos mencionados en los puntos anteriores, teniendo como diagrama de bloques final lo siguiente.

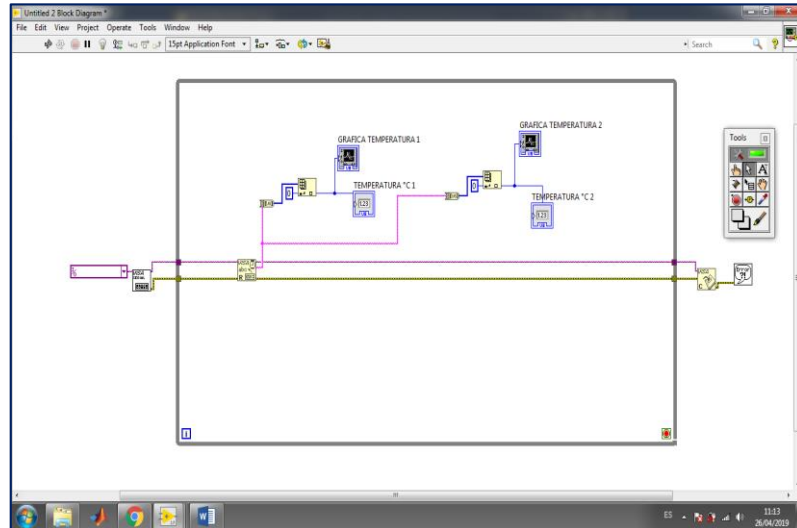


Figura 34-4: Asignación de Bloques.

Realizado por: Autores

4.4 Implementación de discos ventilados y sistema de monitoreo de temperatura en D-max 4x4

4.4.1 Introducción.

La implementación de los discos de frenos ventilados se basa en los objetivos que nos hemos planteado para reducir la temperatura producida por la fricción entre los discos y pastillas de freno.

Los frenos frontales de todos los autos modernos son los frenos de disco. Generalmente proporciona el 80% del poder de retención y tiende a ser más rápido que los frenos posteriores.

4.4.2 Implementación de disco de freno ventilado en D-max 4x4.

Para la correcta instalación de dichos componentes de freno se requieren de varias herramientas como: Herramienta de retracción de pistón, reloj comparador, llave dinamométrica y otras herramientas.

A continuación, se menciona los pasos a seguir.

4.4.2.1 Ubicación del vehículo en un lugar firme y nivelado.

Luego de haber ubicado el vehículo en un lugar seguro, se procedió a inmovilizar, posterior a ello se procedió a elevar el vehículo utilizando un gato hidráulico de 2T la cual nos facilita el trabajo y sobre todo nos ayuda con la seguridad del técnico.

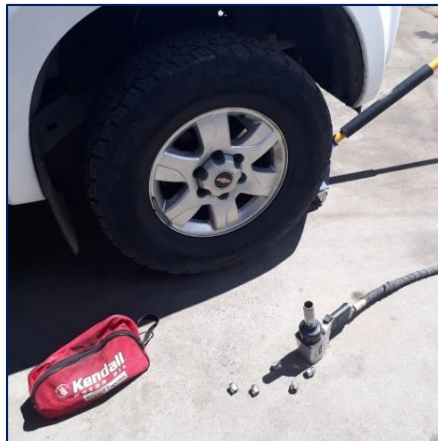


Figura 35-4: Ubicación del Vehículo.
Realizado por: Autores

4.4.2.2 Retirar los neumáticos frontales.

Se procedió a quitar las tuercas de seguridad utilizando pistola neumática y con el dado adecuado, posteriormente se desmontó los neumáticos con toda la precaución posible. (wikiHOW)



Figura 36-4: Desmontaje del Neumático.
Realizado por: Autores

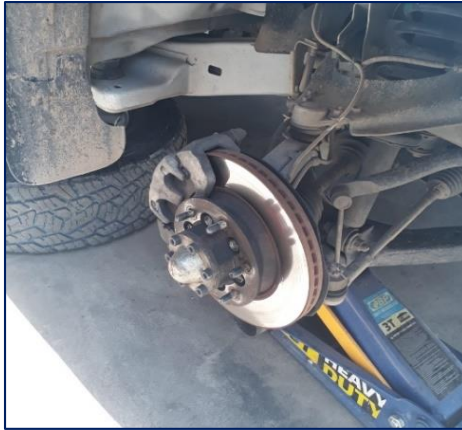


Figura 37-4: Liberación del Neumático.

Realizado por: Autores

4.4.2.3 *Desmontaje de cálipers.*

Antes de realizar el desmontaje de cálipers se debe de realizar una inspección visual de todos los elementos mecánicos que compone un sistema de freno, posteriormente se extrae los pernos de sujeción de la pinza de freno, seguidamente revisar los guardapolvos del pistón de la pinza, en caso de que la pinza y los guardapolvos estén abollados o con óxido se debe de remplazar por una nueva. La pinza de freno debe ser sujeta para evitar daños en el latiguillo, las pastillas de freno deben ser retiradas antes de desmontar el soporte de cálipers.



Figura 38-4: Desmontaje de Cáliper.

Realizado por: Autores



Figura 39-4: Liberación de Cáliper.
Realizado por: Autores

4.4.2.4 *Desmontaje del disco de freno.*

Para liberar los discos es necesario extraer los seguros de la punta homocinética de 4x4 y desatornillar los pernos que sujeta al disco de freno y seguidamente retirar cuidadosamente el disco.



Figura 40-4: Desmontaje del Disco de Freno Normal.
Realizado por: Autores



Figura 41-4: Liberación del Disco Original.
Realizado por: Autores

4.4.2.5 *Montaje del disco de freno.*

Antes de instalar los nuevos discos ventilados se debe realizar limpieza adecuada de la superficie de la mangueta para eliminar cualquier contaminación o restos de óxido.

Posterior a ello se realiza todo el proceso inverso de los apartados anteriores, y finalizando así con el montaje del disco de freno ventilado.



Figura 42-4: Montaje del Disco Ventilado.
Realizado por: Autores



Figura 43-4: Implementación del Disco Ventilado.

Realizado por: Autores

4.5 Implementación del sistema de monitoreo de temperatura en vehículo D-max 4x4.

En este apartado se muestra la implementación de un sistema de adquisición de datos para el monitoreo de la temperatura de los discos de freno, utilizando la tarjeta Arduino y sensores de temperatura a distancia (MLX90614).

4.5.1 Ubicación del Arduino en el vehículo.

Para el fácil acceso y manipulación se procedió con la ubicación de la tarjeta Arduino bajo el asiento del copiloto, se ubicó en este punto considerando que es un lugar libre de contaminación, vibración, etc.

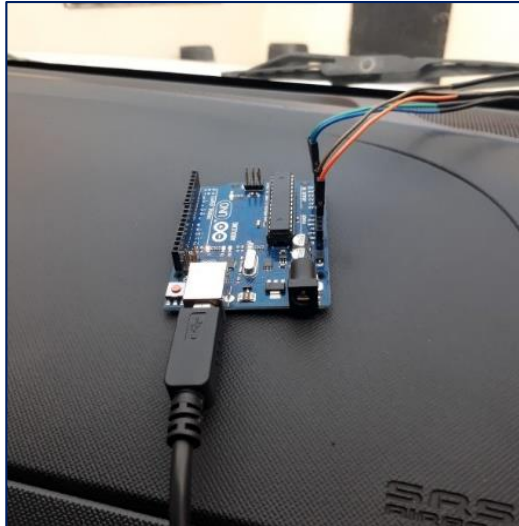


Figura 44-4: Ubicación del Arduino.

Realizado por: Autores

4.5.2 *Ubicación del sensor de temperatura.*

Dichos sensores son instalados muy próximos a los discos ventilados, aprovechando el desmontaje del disco de freno se ubicó el punto preciso para el montaje de los mismos, la lámina protectora del disco de freno fue utilizada como base de soporte para el montaje de los sensores de temperatura.



Figura 45-6: Ubicación de los Sensores de Temperatura.

Realizado por: Autores

4.5.3 *Instalación de arnés para el sistema monitoreo de temperatura.*

Fue necesario la instalación de arnés de comunicaciones entre los sensores y el Arduino, ya que por medio de estas las informaciones captadas por los sensores de temperatura son transmitidas hacia el hardware y posterior visualización en el pc.



Figura 46-4: Instalación de arnés del sistema de monitoreo de temperatura.

Realizado por: Autores

El arnés blindado fue instalado siguiendo la instalación original de arnés de sistema ABS.

CAPÍTULO V

5 PRUEBAS Y MONITOREO DE TEMERATURA DE DISCOS VENTILADOS EN VEHÍCULO D-MAX 4X4

5.1 *Plan de pruebas y monitoreo de temperatura.*

Inicialmente se realizó el monitoreo de temperatura con discos de freno originales de D-max 4x4, para lo cual se seleccionó la pista de recorrido adecuada.

Posteriormente se realizó la adquisición de datos de temperatura con discos de freno ventilados rediseñados, la prueba se realizó en la misma pista seleccionada anteriormente.

Finalmente se monitoreo los datos de temperaturas, instalando disco original en la rueda delantera izquierdo y con disco hiperventilado en la rueda delantera derecho.

5.1.1 *Monitoreo de temperatura en ruta con discos originales.*

En este apartado se realizó la adquisición de datos de temperatura con discos normales, a diferentes velocidades del vehículo, en la ruta seleccionada (Tambo - Cañar), los datos de temperatura patrones, nos ayudará como datos comparativos con respecto a los resultados de monitoreo de temperatura con discos ventilados rediseñados.

A continuación, se detallan datos de temperatura monitoreada con discos de frenos originales.



Gráfico 1-5: Monitoreo de temperatura en ruta con discos normales.
Realizado por: Autores

Tabla 1-5: Datos de temperatura de disco normal (1).

TIEMPO (s)	600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700
TEMPERATURA (°C)	86	83	80	80	82	84	81	79	90	92	95

Realizado por: Autores

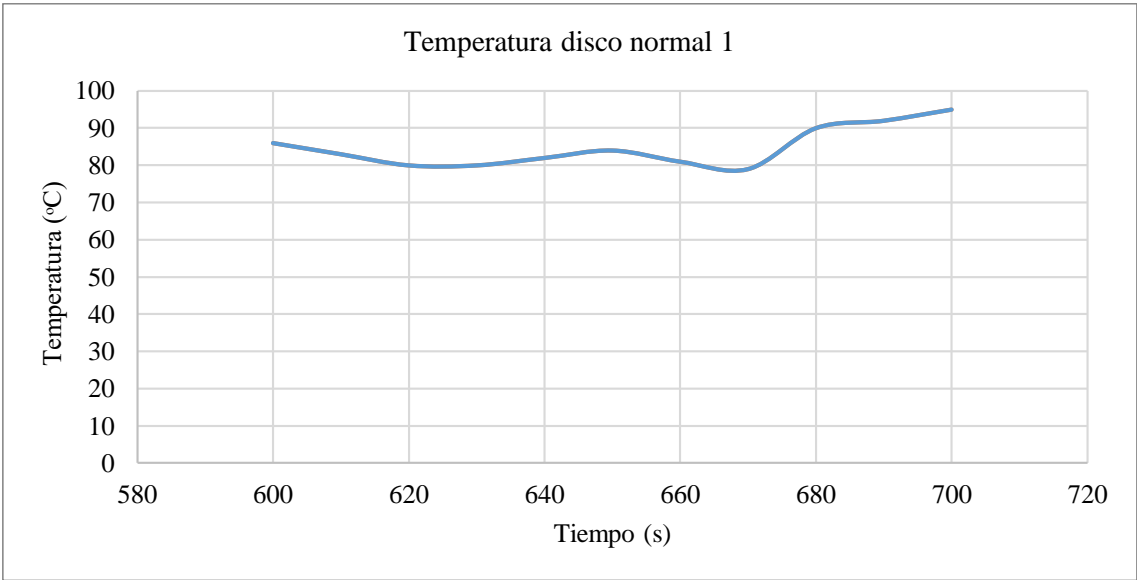


Gráfico 2-5: Temperatura de Disco Normal (1) en Excel.

Realizado por: Autores

Tabla 2-5: Datos de temperatura de disco normal (2).

TIEMPO (s)	600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700
TEMPERATURA (°C)	95	96	95	89	89	96	93	92	100	103	106

Realizado por: Autores

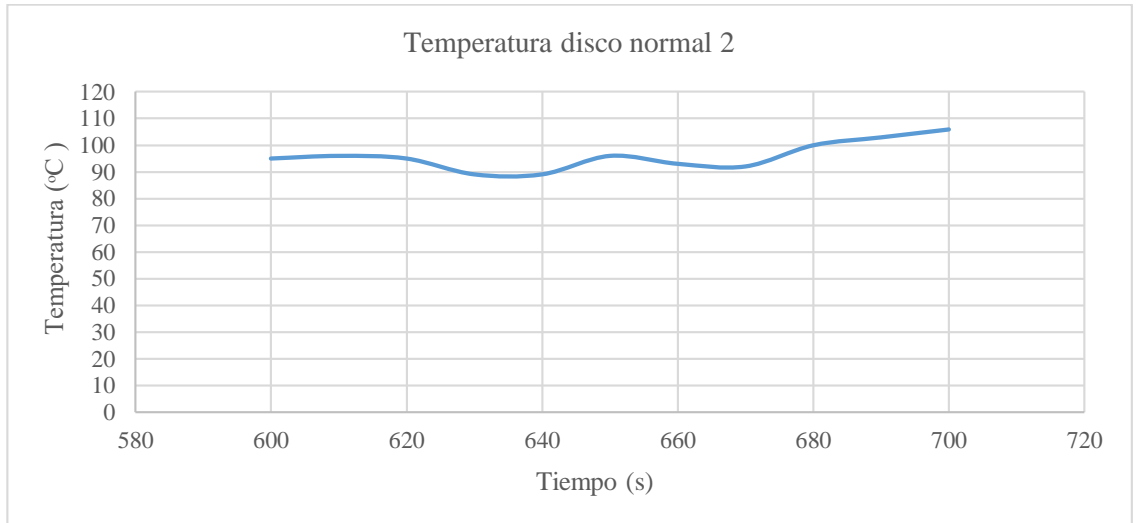


Gráfico 3-5: Temperatura de Disco Normal (2) en Excel.

Realizado por: Autores

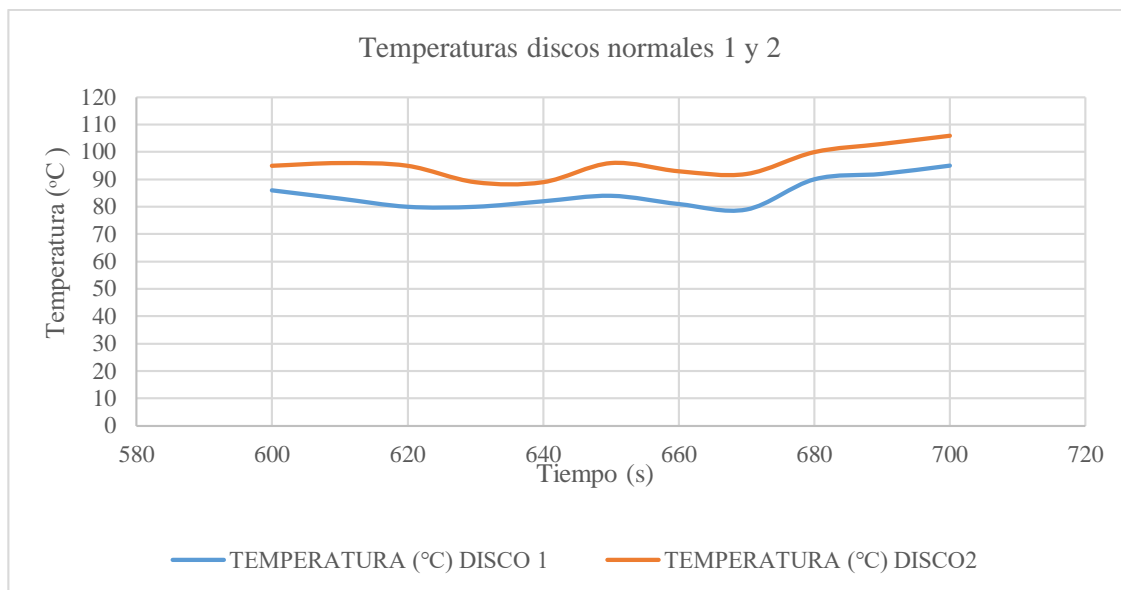


Gráfico 4-5: Temperatura de Discos 1 y 2 en Excel.

Realizado por: Autores

5.1.2 Monitoreo de temperatura en ruta con discos ventilados.

Para la adquisición de datos de temperatura con discos ventilados, las pruebas se realizan en la misma ruta seleccionada (Tambo - Cañar), los resultados obtenidos con discos rediseñados se detallan a continuación.

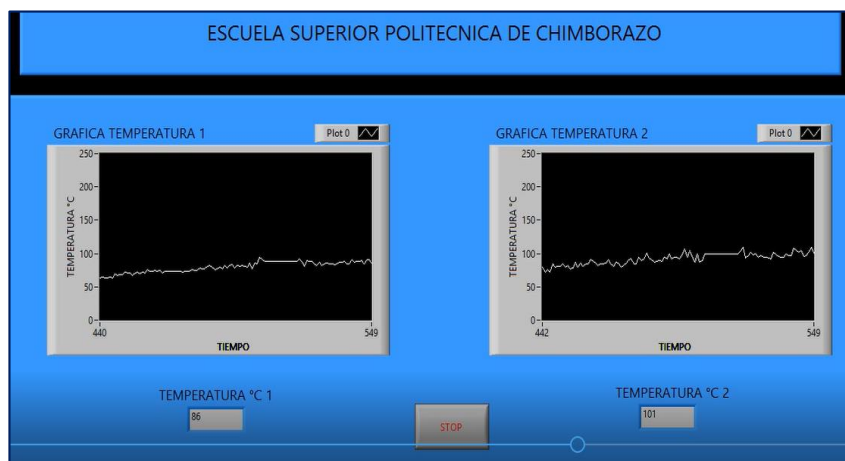


Gráfico 5-5: Monitoreo de Temperatura en Ruta con Discos Ventilados.

Realizado por: Autores

Tabla 2-5: Datos de Temperatura de Disco ventilado (1).

TIEMPO (s)	440	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540
TEMPERATURA (°C)	86	93	100	110	117	116	116	117	114	126	111

Realizado por: Autores

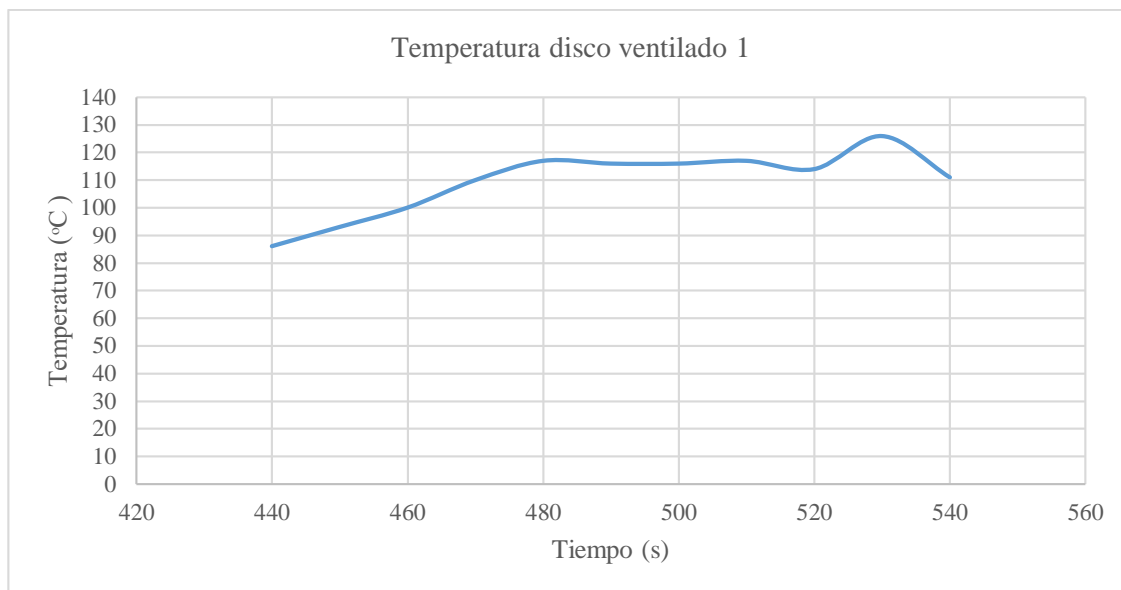


Gráfico 6-5: Temperatura de Disco Ventilado 1 en Excel.

Realizado por: Autores

Tabla 3-5: Datos de temperatura de disco ventilado (2).

TIEMPO (s)	440	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540
TEMPERATURA (°C)	101	106	115	125	130	132	125	130	132	126	123

Realizado por: Autores

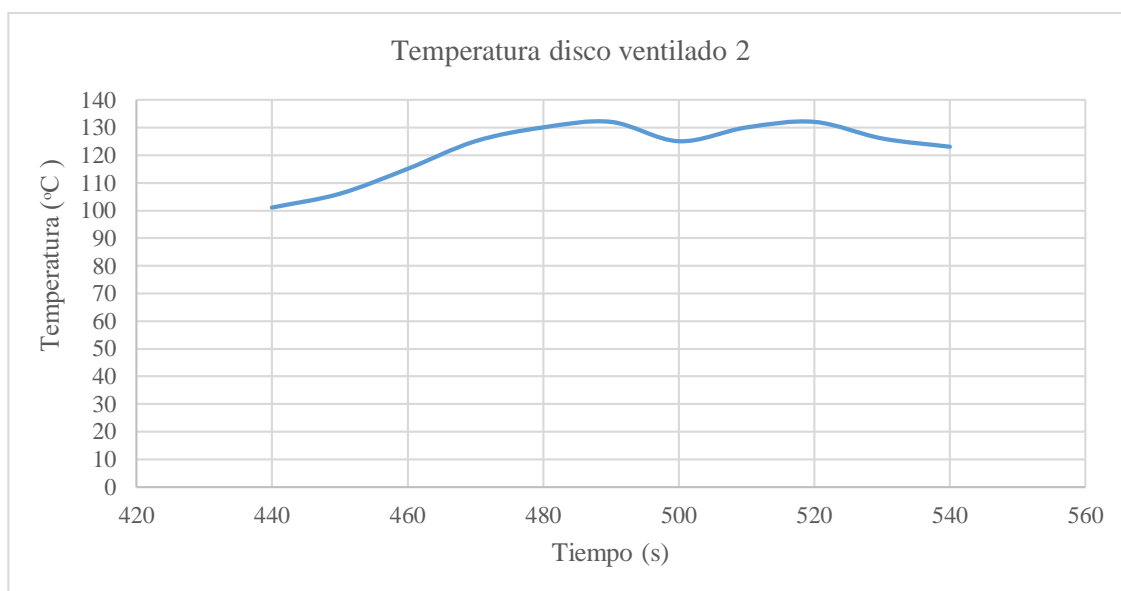


Gráfico 7-5: Temperatura de Disco Ventilado 2 en Excel.

Realizado por: Autores

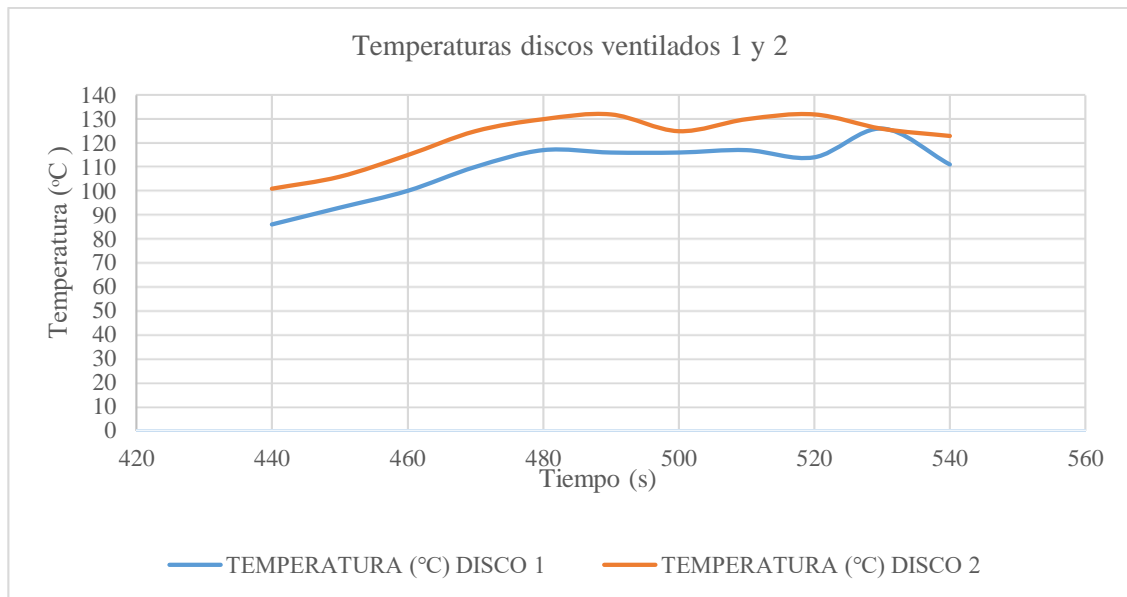


Gráfico 8-5: Temperatura de Discos Ventilados 1 y 2 en Excel.

Realizado por: Autores

5.1.3 Monitoreo de Temperatura en Ruta con un Disco Normal y uno Ventilado.

Se procedió a realizar la adquisición de datos de temperatura de los discos de freno, instalando disco normal en la rueda delantera izquierda y disco ventilado en la rueda delantera derecha, utilizando la misma ruta seleccionada (Tambo - Cañar), la prueba con discos mixtos se realizó con el fin de obtener resultados reales de diferencia de temperaturas entre un disco normal y ventilado, a continuación, se detallan los resultados.



Gráfico 9-5: Monitoreo de temperatura en ruta con discos mixtos.

Realizado por: Autores

Tabla 4-5: Datos de temperatura de disco normal (grafica 1).

TIEMPO (s)	5910	5920	5930	5940	5950	5960	5970	5980	5990	6000	6010
TEMPERATURA (°C)	140	135	133	130	132	128	127	137	131	143	144

Realizado por: Autores

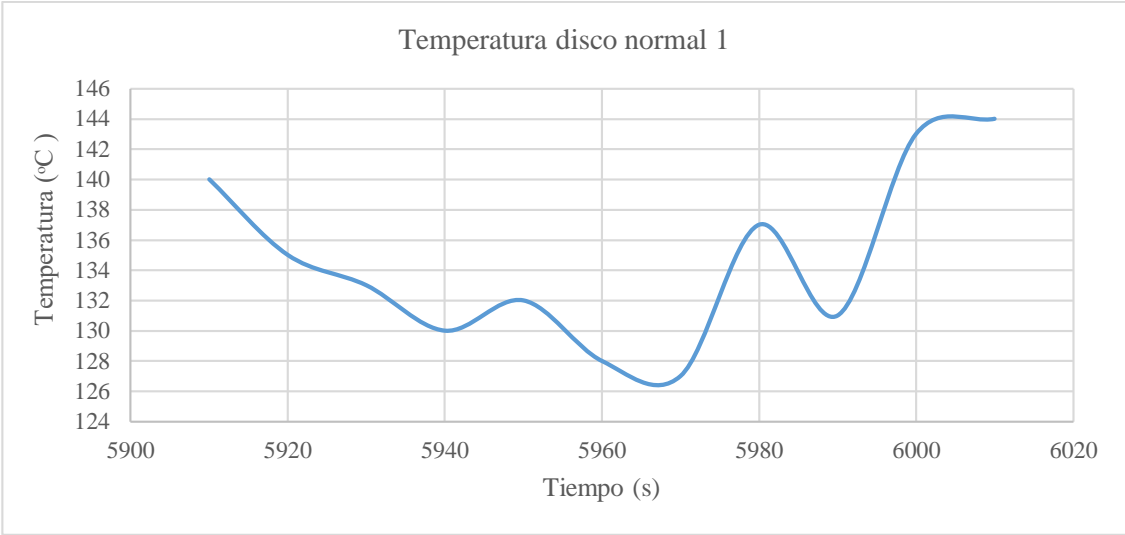


Gráfico 10-5: Temperatura de Disco Normal en Excel.

Realizado por: Autores

Tabla 5-5: Datos de temperatura de disco ventilado (grafica 2).

TIEMPO (s)	5910	5920	5930	5940	5950	5960	5970	5980	5990	6000	6010
TEMPERATURA (°C)	123	128	115	114	118	122	114	122	119	127	136

Realizado por: Autores

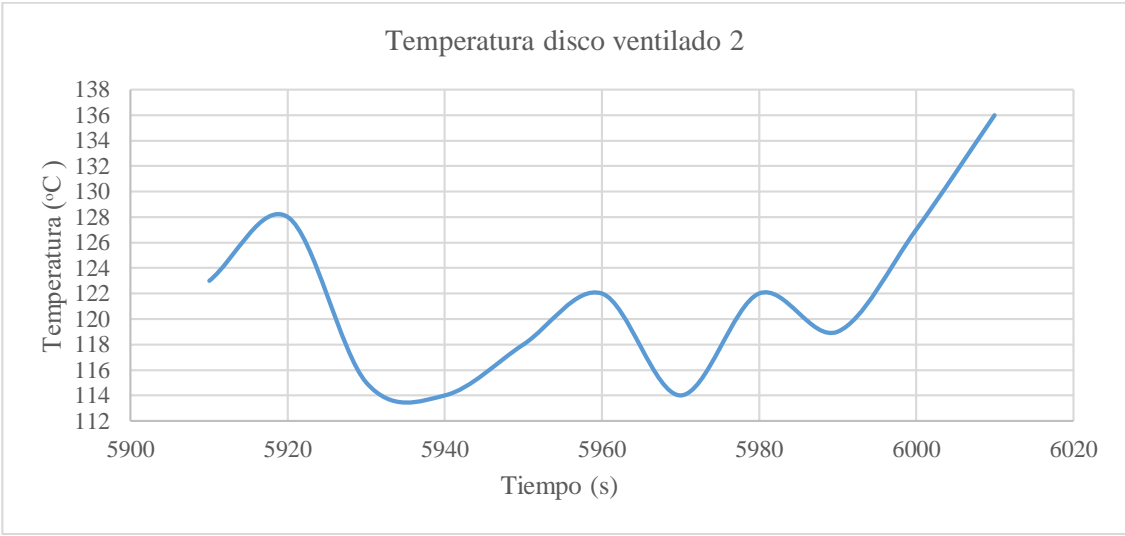


Gráfico 11-5: Temperatura de Disco Ventilado.

Realizado por: Autores

Tabla 6-5: Diferencia de temperatura entre los dos tipos de discos.

TIEMPO (s)	5910	5920	5930	5940	5950	5960	5970	5980	5990	6000	6010
TEMPERATURA (°C)	17	7	18	16	14	6	13	15	12	14	8

Realizado por: Autores

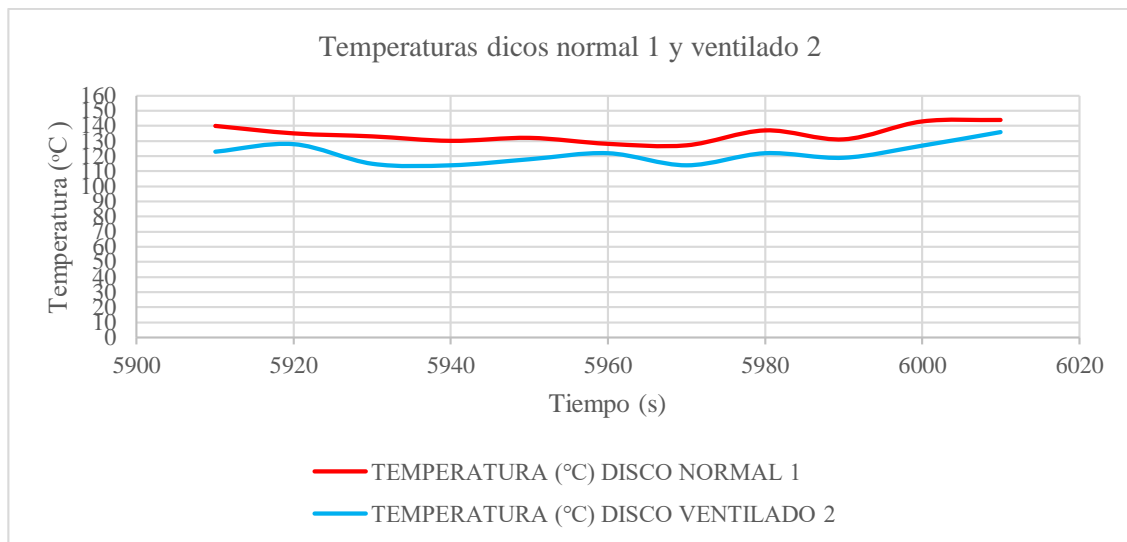


Gráfico 12-5: Temperaturas de Discos Normal y Ventilado en Excel.

Fuente: Autores

5.2 Prueba de frenado.

Consiste en verificar y comparar las distancias y tiempos de frenado en el vehículo D-max 4x4 con discos normales y ventilados, con el fin de determinar la eficiencia y el comportamiento de los discos de frenos.

Para realizar la prueba de frenado se seleccionó una pista plana de 2 km, en dicha pista se marcó un punto de referencia que indica el inicio de frenado.



Figura 1-5: Pista de prueba de frenado.

Realizado por: Autores

El vehículo de prueba fue puesto en marcha hasta alcanzar los 100km/h, una vez que el vehículo llegue al punto de referencia marcada en la pista, se aplicó la fuerza necesaria en el pedal del freno hasta detener el vehículo.



Figura 2-5: Vehículo de prueba.
Realizado por: Autores

5.2.1 Prueba de frenado con discos originales.

El vehículo fue puesto a prueba con discos normales de fabricación, los resultados obtenidos se detallas en la tabla 8-5.



Figura 3-5: Prueba de frenado con discos normales.
Realizado por: Autores

Tabla 7-5: Resultados de frenado con discos normales.

VELOCIDAD INICIAL (Km/h)	100
TIEMPO INICIAL(s)	1637
TEMPERATURA INICIAL (°C)	64
VELOCIDAD FINAL (Km/h)	0
TIEMPO FINAL(s)	1641
TEMPERATURA FINAL (°C)	82
DISTANCIA DE FRENADO (m)	37.5
TIEMPO DE FRENADO (s)	4

Realizado por: Autores

5.2.2 Prueba de frenado con discos ventilados.

El vehículo a pruebas fue implementado con discos rediseñados (ventilados), los resultados con discos ventilados se detallan en la tabla 9-5.



Figura 4-5: Prueba de frenado con discos ventilados.

Fuente: Autores

Tabla 8-5: Resultados de frenado con discos ventilados.

VELOCIDAD INICIAL (Km/h)	100
TIEMPO INICIAL(s)	178
TEMPERATURA INICIAL (°C)	39
VELOCIDAD FINAL (Km/h)	0
TIEMPO FINAL(s)	181
TEMPERATURA FINAL (°C)	55
DISTANCIA DE FRENADO (m)	25
TIEMPO DE FRENADO (s)	3

Realizado por: Autores

5.2.3 Comparación de las dos pruebas de frenado con los respectivos tipos de discos.

En esta comparativa se tomaron los datos de las distancias de frenado obtenidos, tanto de los discos normales como de los ventilados. Los datos recogidos pertenecen a las pruebas de frenado anteriormente descritas.

Tabla 9-5: Datos de tiempo y distancia de frenada de discos normales y ventilados

TIEMPO	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
DISCOS NORMALES	0	4,69	9,38	14,06	18,75	23,44	28,13	32,82	37,5
DISCOS VENTILADOS	0	4,17	8,33	12,5	16,67	20,84	25	-	-

Realizado por: Autores

Con los datos de Tiempo vs Distancia de frenado se realizó una gráfica donde podemos visualizar la diferencia entre ambos discos con respecto a la distancia de frenado y el tiempo. En la gráfica es claro que los discos ventilados reducen considerablemente la distancia de frenado en un tiempo menor que los discos de freno normales.

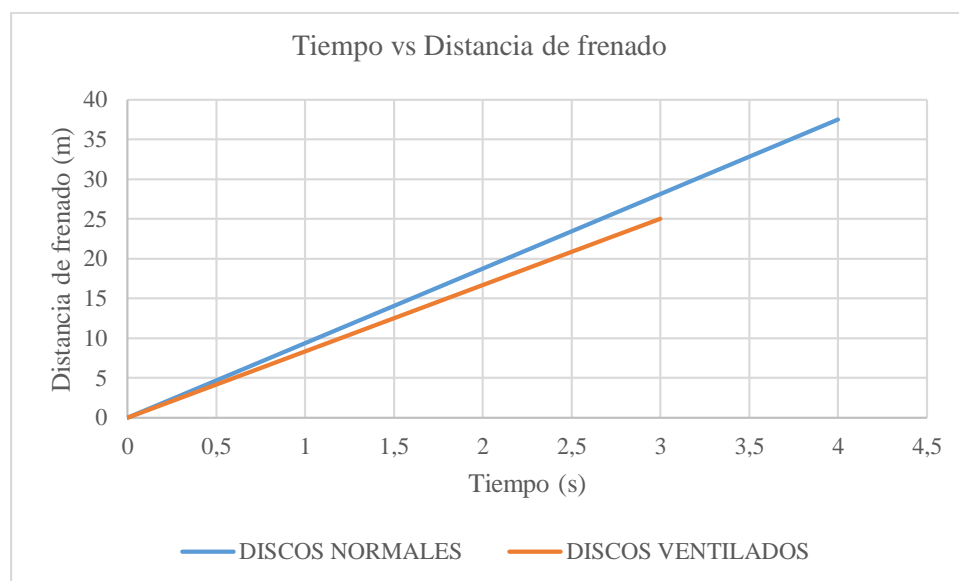


Gráfico 13-5: Comparativa Tiempo Vs Distancia de frenado (en Excel).

Fuente: Autores

CAPÍTULO VI

6 COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN

6.1 Detalle de costos directos.

Tabla 1-6: Costos del sistema mecánico.

SISTEMA DE FRENO VENTILADO			
Cantidad	Descripción	Valor unitario USD	Valor total USD
2	Disco de freno	35,00	70,00
1	Pastillas de freno	25,00	25,00
2	Mecanizado de los discos	100,00	200,00
Total		295,00 USD	

Realizado por: Autores

Tabla 2-6: Costos del sistema de monitoreo de temperatura.

SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA			
Cantidad	Descripción	Valor Unitario USD	Valor total USD
1	Tarjeta Arduino	100,00	100,00
2	Sensor de temperatura	40,00	80,00
1	Cable de comunicaciones	20,00	20,00
2	Arnés de comunicación	15,00	30,00
Total		230,00 USD	

Realizado por: Autores

COSTOS DIRECTOS	525,00 USD
------------------------	-------------------

6.2 Detalle de costos indirectos.

Tabla 3-6: *Costos indirectos.*

Detalle	Valor
Transporte	50,00
Varios	50,00
TOTAL	100,00 USD

Fuente: Autores

COSTOS INDIRECTOS	100,00 USD
--------------------------	-------------------

6.3 Costos totales.

Tabla 4-6: Costos totales.

Costos directos	525,00
Costos indirectos	100,00
TOTAL	625,00 USD

Realizado por: Autores

CONCLUSIONES

Gracias al software Solidworks se pudo rediseñar de una manera más fácil y precisa con lo que posteriormente se pudo mecanizar el disco con la ayuda de una fresadora CNC obteniéndose resultados de rediseño exactos y fiables.

Con la implementación del sistema de monitoreo de temperatura de los discos de freno se experimentó los datos en tiempo real del calor producido por las cargas térmicas al momento del frenado del vehículo, visualizándose en las tablas y gráficas del programa de trabajo en el presente proyecto.

El disco rediseñado presentó una mayor concentración de esfuerzos axiales proporcionando un mejor agarre entre las patillas y el disco, manteniendo una temperatura normal y considerablemente baja al momento del frenado del vehículo.

Los discos de frenos ventilados disiparon el calor de una manera más eficaz que los discos normales con lo que se consiguió mejor eficiencia, menor tiempo y distancia de frenado y mayor seguridad durante la conducción.

RECOMENDACIONES

Antes de poner en funcionamiento el sistema de monitoreo de temperatura se debe cerciorarse que estén instalados correctamente todos los elementos electrónicos, que los dispositivos a usar estén libres de cualquier agente contaminante que perjudique su correcto funcionamiento.

Evitar realizar pruebas de frenos con este sistema durante días lluviosos y en carreteras pedregosas ya que el agua y los diferentes sólidos como piedras puede perjudicar la integridad de los sensores que están expuestos en cada rueda delantera del vehículo.

Para rediseñar un disco de frenos de normal a ventilado es importante el diseño previo en un software apropiado y contar con máquinas herramientas que nos brinden una precisión exacta al momento del mecanizado.

No se debe sobre pasar el valor de temperatura óptima de frenado, por seguridad del mismo y de los ocupantes tomando en cuenta que para vehículos que realicen largas rutas de recorrido se recomienda usar discos ventilados ya que estos proporcionan mejor eficiencia y seguridad al momento de la conducción.

Los conductores deben crear conciencia para que realicen un mantenimiento periódico en el sistema de frenos sin esperar percances o daños mayores, considerando que este sistema es el más importante al momento de salvaguardar la integridad de los pasajeros del automotor.

BIBLIOGRAFÍA

ÁGEDA, Eduardo; et al. *Sistemas de transmisión de fuerzas y trenes de rodaje*. España: Paraninfo, S.A., 2012.

ALONSO PÉREZ, José. *Técnicas del Automóvil Chasis*. Madrid: Paraninfo, 2008.

AUTONOCION.COM. *Autonocion*. [Blog]. [Consulta: 20 de 08 de 2018]. Disponible en: <https://www.autonocion.com/tipos-discos-de-freno-pros-contras/>.

BDIGITAL. *Estudio térmico en tres frenos de disco ventilados, utilizando el análisis de elementos finitos* [Blog]. Colombia: ISSNN, 2017. [Consulta: 20 de 08 de 2018]. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/55663/63524>.

BLOGSPOT.COM. *El disco de freno* [Blog]. 20 de 09, 2010. [Consulta: 28 de 08 de 2018.] Disponible en: <http://eldiscodefreno.blogspot.com/2010/09/teoria-de-los-discos-de-freno.html>.

CARRANZA & BELTRAN. *Transferencia de Calor de Estado Inestable en Forros para Freno*. 4^{ta} ed., 2003, pp. 77-79.

CAUTLE, José; et al. *Reparación del sistema de frenos convencionales y ABS*. México: Digital Comunicación, S. A., 2018, pp. 9.

ESTUELECTRONIC. *¿Que es y para que sirve Labview?* [Blog]. 2012. [Consulta: 30 de 08 de 2018]. Disponible en: <https://estuelectronic.wordpress.com/2012/08/06/que-es-y-para-que-sirve-labview/>.

MEZQUITA, José & DOLS R., Juan . *Tratado sobre automóviles Tomo 2*. México: Alfaomega Grupo Editor S. A. , 2001, pp. 12.7;12.46-12.47.

FÍSICAENLINEA. *Fuerzas de Fricción*. [Blog] 07 de 2016. [Consulta: 12 de 06 de 2018.]. Disponible en: <http://www.fisicaenlinea.com/06fuerzas/fuerzas03-friccion.html>.

FRANK, Kreith. *Principios de transferencia de calor*. 7^{ma} ed. México: 2011, pp. 9-17.

FRANK, P. *Fundamentos de transferencia de calor*. 4^{ta} ed. México: 1999., pp. 3-6.

KASHIMA. *Electrónica del automvil*. [En línea] 2016. [Consulta: 25 de 07 de 2018.] Disponible en: <http://kashima.campuseina.com/mod/book/tool/print/index.php?id=7614>.

LUQUE, Pablo; et al. *Ingeniería del Automóvil* . México: International Thomsom Ediciones, S. A. , 2005, p 426 .

ANÓNIMO. *Manual tecnico de freno*. [En línea]. [Consulta: 27 de 12 del 2018] Disponible en: http://www.ingenieriamecanica.com/automocion/1_conocimientos/3_localizar_averias/frenos/diagnosis_averias_frecuentes.pdf.

MANUALRAPIDO. *Información básica sobre arduino*. [Blog]. [Consulta: 27 de 12 del 2018]. Disponible en: http://www.practicasconarduino.com/manualrapido/informacin_bsica_sobre_arduino.html.

MCI ELECTRONICS. *¿Que es Arduino?* [Blog]. [Consulta: 27 de 12 del 2018]. Disponible en: <http://arduino.cl/que-es-arduino/>.

MECHATRONICS NAYLAMP. *Sensores-temperstura y humedad.* [Blog]. [Consulta: 27 de 12 del 2018] Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/330-sensor-de-temperatura-mlx90614.html>.

MORALES, Gómez; et al. *Fundamentos tecnológicos del automóvil.* España: International Thomsom Editores Spain Paraninfo, S. A., 2002, pp. 235; 243

NATIONAL INSTRUMENTS. *Dispositivo de E/S Multifunción.* [Blog]. [Consulta: 4 de 01 del 2019]. Disponible en: <https://www.ni.com/es-cr/support/model.usb-6008.html>.

OMEGA. *Control de temperatura.* Mexico: [Blog] 2003. [Consulta: 4 de 01 del 2019]. Disponible en: <https://cl.omega.com/prodinfo/control-de-temperatura.html>.

OROSCO, José. *Diagnóstico Servicio Frenos Convencionales.* México: Digital Comunicación , 2008, pp. 402-405.

RISOUL. *Sistema de monitero de temperaturas.* [Blog] 26 de 06 de 2017. [Consulta: 20 de 01 del 2019] Disponible en: <https://www.risoul.com.mx/blog/sistemas-raytek-de-monitoreo-de-temperatura-en-equipos>.

WEENER, David. *Manual Práctico del Cuidado y Reparación del Automóvil.* México: Continental, 1984, pp. 376-377.

ANEXOS